

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA**

**SISTEMAS DE CULTURAS EM PLANTIO DIRETO
ADAPTADOS À PEQUENA PROPRIEDADE
RELACIONADOS COM A EROÇÃO E ATRIBUTOS DE
UM ARGISSOLO VERMELHO**

TESE DE DOUTORADO

Mastrângello Enívar Lanzasova

Santa Maria, RS, Brasil

2009

**SISTEMAS DE CULTURAS EM PLANTIO DIRETO
ADAPTADOS À PEQUENA PROPRIEDADE RELACIONADOS
COM A EROÇÃO E ATRIBUTOS DE UM ARGISSOLO
VERMELHO**

por

Mastrângello Enívar Lanzasova

Tese apresentada ao Curso de Doutorado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Área de Concentração em Mecanização Agrícola, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Doutor em Engenharia Agrícola**

Orientador: Prof. PhD. Flávio Luiz Foletto Eltz

Santa Maria, RS, Brasil

2009

**Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Ciências Rurais
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,
aprova a Tese de Doutorado

**SISTEMAS DE CULTURAS EM PLANTIO DIRETO ADAPTADOS
À PEQUENA PROPRIEDADE RELACIONADOS COM A EROÇÃO
E ATRIBUTOS DE UM ARGISSOLO VERMELHO**

elaborada por
Mastrângello Enívar Lanza Nova

como requisito parcial para obtenção do grau de
Doutor em Engenharia Agrícola

COMISSÃO EXAMINADORA:


Flávio Luiz Foletto Eltz, PhD.
(Presidente/Orientador)


Elemar Antonino Cassol, PhD. (UFRGS)


Ildegardis Bertol, Dr. (UDESC)


Telmo Jorge Carneiro Amado, Dr. (UFMSM)

Thomé Lovato, Dr. (UFMSM)

Santa Maria, 16 de novembro de 2009

A você, Vitória, minha filha amada, e a você, Luciana, por serem as mulheres da minha vida e por me fazerem cada vez mais forte em busca do nosso futuro, com todo meu amor, do fundo do coração, dedico a minha Tese.

AGRADECIMENTOS

À Deus, nosso Senhor, que me acompanha, me guia e me conduz pelo melhor caminho.

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, da Universidade Federal de Santa Maria, pela oportunidade oferecida.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, pela concessão parcial de bolsa de estudos e auxílio financeiro.

Ao meu orientador, e amigo, professor Flávio Luiz Foletto Eltz, pela orientação, pela sabedoria e experiência repassada, pelo companheirismo, pela paciência comigo, por ser um exemplo como pessoa e como profissional.

Aos meus amigos e compadres Rodrigo da Silveira Nicoloso e Tatiana Senhor Nicoloso, pela amizade, pelo companheirismo, pelo incentivo e apoio no momento de realizar a inscrição na seleção para a vaga no curso.

Aos professores Telmo Jorge Carneiro Amado, Ildegardis Bertol, Elemar Antonino Cassol, e Thomé Lovato, pela colaboração na confecção do trabalho.

Aos meus colegas de trabalho, professores da Universidade Estadual do Rio Grande do Sul – Pólos Três Passos e São Luiz Gonzaga, pelo apoio e consideração no momento de “trocar horários” em função dos meus compromissos no curso de doutorado.

Aos meus colegas de curso, nas diferentes disciplinas realizadas durante os 3 anos de aulas, trabalhos, seminários, provas e demais atividades.

Aos bolsistas de graduação, que depois se tornaram colegas de curso, além de serem meus amigos, companheiros, e sempre dispostos a realizar as mais variadas e difíceis tarefas, Vitor, Jardes, Clério, Luis Eugênio, Raul, Ramiro, e todos os demais que me ajudaram.

À Marta Rodrigues da Rocha, a “Martinha”, pela amizade, pela dedicação, e pelo trabalho incansável realizado durante o período em que conduzimos o experimento.

Aos funcionários do galpão de solos, Antônio Martins, José Luiz Martins e Enio Antônio Pozzobom, pela disposição em ajudar, pelos conselhos e pela experiência nas mais variadas atividades.

À minha esposa, Luciana de Abreu, pelo companheirismo, pelo apoio, pelo incentivo, pelas conversas tranquilizadoras, pela paciência e consideração nas horas mais difíceis, por ser a pessoa maravilhosa que és.

Aos meus pais, Alvino Lazzanov e Rita Bombardelli Lazzanov, que sempre me incentivaram, apoiaram e me deram confiança em todas as dificuldades enfrentadas durante a execução do trabalho.

A todas as pessoas que de uma forma ou de outra contribuíram e acreditaram no meu trabalho.

SUMÁRIO

	página
RESUMO	09
ABSTRACT	11
LISTA DE TABELAS	13
LISTA DE FIGURAS	17
LISTA DE ANEXOS	23
INTRODUÇÃO GERAL.....	24
HIPÓTESES.....	27
OBJETIVOS.....	28
MATERIAL E MÉTODOS GERAL.....	29
Localização e caracterização da área experimental.....	29
Histórico do experimento.....	29
Delineamento experimental e tratamentos.....	32
Implantação, condução e manejo das culturas.....	33
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	35
1 CAPÍTULO I. ALTERAÇÕES EM ATRIBUTOS FÍSICOS DE UM ARGISSOLO VERMELHO EM SISTEMAS DE CULTURAS SUBMETIDOS A 16 ANOS DE MANEJO CONSERVACIONISTA	39
1.1 Resumo.....	39
1.2 Introdução.....	40
1.3 Material e Métodos.....	44
1.3.1 Densidade do solo.....	44
1.3.2 Resistência do solo ao penetrômetro.....	45
1.3.3 Taxa de infiltração de água no solo.....	45
1.4 Resultados e Discussão.....	46
1.4.1 Densidade do solo.....	46
1.4.2 Porosidade do solo.....	51
1.4.3 Resistência do solo ao penetrômetro.....	55
1.4.4 Taxa de infiltração de água no solo.....	58
1.4.5 Evolução temporal dos atributos físicos avaliados.....	63
1.5 Conclusões.....	66

1.6 Referências Bibliográficas.....	67
2 CAPÍTULO II. ATRIBUTOS QUÍMICOS DE UM ARGISSOLO VERMELHO SUBMETIDO A SISTEMAS DE CULTURAS SOB PLANTIO DIRETO POR LONGO PERÍODO.....	74
2.1 Resumo.....	74
2.2 Introdução.....	75
2.3 Material e Métodos.....	79
2.4 Resultados e Discussão.....	80
2.4.1 pH do solo.....	80
2.4.2 Alumínio trocável.....	81
2.4.3 Ca e Mg trocáveis.....	82
2.4.4 Matéria orgânica do solo.....	87
2.4.5 Fósforo trocável.....	90
2.4.6 Potássio trocável.....	91
2.4.7 Evolução temporal dos atributos químicos do solo avaliados.....	93
2.4.8 Capacidade de troca de cátions e soma de bases.....	96
2.5 Conclusões.....	101
2.6 Referências Bibliográficas.....	101
3 CAPÍTULO III. RENDIMENTO DE GRÃOS, MATÉRIA SECA, CARBONO E NITROGÊNIO EM DIFERENTES SISTEMAS DE CULTURAS SOB PLANTIO DIRETO POR LONGO PERÍODO.....	108
3.1 Resumo.....	108
3.2 Introdução.....	109
3.3 Material e Métodos.....	112
3.4 Resultados e Discussão.....	114
3.4.1 Rendimento de grãos de milho.....	114
3.4.2 Produção de matéria seca.....	120
3.4.3 Carbono e nitrogênio.....	125
3.5 Conclusões.....	138
3.6 Referências Bibliográficas.....	139
4 CAPÍTULO IV. PERDAS DE SOLO E ÁGUA EM UM ARGISSOLO VERMELHO SUBMETIDO A SISTEMAS DE CULTURAS CONSERVACIONISTAS POR LONGO PERÍODO.....	145
4.1 Resumo.....	145

4.2 Introdução.....	146
4.3 Material e Métodos.....	150
4.4 Resultados e Discussão.....	152
4.4.1 Perdas de solo.....	152
4.4.2 Perdas de água.....	183
4.4.3 Precipitação pluviométrica e erosividade da chuva.....	203
4.4.4 Erodibilidade (fator “K”) e cobertura e manejo do solo (fator “C”).....	213
4.5 Conclusões.....	223
4.6 Referências Bibliográficas.....	224
CONSIDERAÇÕES FINAIS E SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS.....	233
ANEXOS.....	235

RESUMO

Tese de Doutorado

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola
Universidade Federal de Santa Maria, RS, Brasil

SISTEMAS DE CULTURAS EM PLANTIO DIRETO ADAPTADOS À PEQUENA PROPRIEDADE RELACIONADOS COM A EROSÃO E ATRIBUTOS DE UM ARGISSOLO VERMELHO

Autor: Mastrângello Enívar Lanzasova

Orientador: Flávio Luiz Foletto Eltz

Data e Local da Defesa: Santa Maria, 16 de novembro de 2009

Em se tratando de sistemas de manejo do solo, são raros os trabalhos de pesquisa que são conduzidos por um período longo o suficiente para que muitos atributos do solo possam expressar-se convenientemente. O sistema plantio direto influencia muitos atributos do solo. O presente estudo teve como objetivos avaliar o efeito do sistema plantio direto com uso de plantas de cobertura de inverno e verão em alguns atributos químicos e físicos do solo, após 16 anos de adoção. Objetivou também avaliar a produtividade de grãos de milho, a produção de matéria seca e carbono pelos diferentes sistemas de culturas, o estoque de carbono orgânico e nitrogênio no solo, além de verificar o efeito dos diferentes sistemas de culturas na redução das perdas de solo e água, em comparação com o solo em seu estado original e com o solo mantido permanentemente descoberto e exposto a ação do clima. O experimento teve início no ano de 1991, em um solo classificado como Argissolo Vermelho distrófico arênico. O mesmo utiliza, desde o ano 2001, como tratamentos, os seguintes sistemas de culturas: (1) Milho (*Zea mays L.*) + feijão de porco (*Canavalia ensiformis DC*)/soja (*Glycine max (L.) Merr.*) (MFP); (2) Solo permanentemente descoberto (SDES); (3) Milho/pousio/soja/pousio (POU); (4) Milho/azevém (*Lolium multiflorum Lam.*) + ervilhaca comum (*Vicia sativa*)/soja/azevém + ervilhaca comum (AZEV); (5) Milho + mucuna cinza (*Stylobium cinereum*)/soja (MUC); (6) Campo nativo (CNA); e (7) Milho/nabo forrageiro (*Raphanus sativus L. var. oleiferus Metzg.*)/soja/nabo forrageiro (NFO). Os resultados obtidos demonstraram que o solo mantido permanentemente descoberto influenciou negativamente os atributos de fertilidade do solo avaliados, principalmente o conteúdo de matéria orgânica e potássio do solo. A análise apenas do pH do solo não foi suficiente para caracterizar o estado de acidez do solo, sendo necessário conhecer a concentração dos demais componentes, como o alumínio trocável e os teores de cálcio + magnésio. O efeito residual da aplicação de calcário, antes da implantação do sistema plantio direto, no valor do pH, teor de alumínio e fósforo trocável, ultrapassou 16 anos. Verificou-se uma relação direta entre o valor do pH do solo e o seu teor de matéria orgânica, e uma relação inversa entre o valor do pH e o teor de alumínio trocável, com o incremento na profundidade no solo, para todos os tratamentos avaliados. Para os atributos físicos avaliados, os resultados demonstraram que a manutenção da superfície do solo permanentemente descoberta e desprotegida promove intensa degradação dos mesmos, com formação de selamento superficial e redução da infiltração de água.

A porosidade total e a macroporosidade do solo, até 0,10 m de profundidade, apresentaram estreita relação entre si. A resistência do solo ao penetrômetro evidenciou uma camada de maior resistência na superfície (até 0,03 m) do tratamento SDES, e o NFO apresentou os maiores valores nas profundidades de 0,16 e 0,18 m. Menores taxas de infiltração de água no solo foram verificadas, ao longo de todos os tempos avaliados (5, 10, 15, 20, 30, 60, 90 e 120 min), nos tratamentos SDES e CNA, enquanto os demais mantiveram-se constantemente acima destes e semelhantes entre si. O sistema plantio direto com uso de plantas de cobertura do solo, após 16 anos de utilização, mostrou-se eficiente em manter atributos físicos, como a densidade e porosidade do solo em condições favoráveis ao desenvolvimento vegetal, ao mesmo tempo em que melhorou outros atributos, como a taxa de infiltração de água, em comparação com a condição inicial de campo nativo. Com relação a produção de grãos de milho, o sistema plantio direto com utilização de adubos verdes de verão e inverno proporcionou maiores rendimentos do que o sistema que utiliza pousio invernal. O cultivo do solo a partir de um campo nativo determinou perdas no conteúdo de carbono orgânico, porém este foi possível de ser recuperado com a utilização de plantio direto com elevado aporte de resíduos vegetais ricos em carbono e nitrogênio, como ocorreu no tratamento AZEV. A manutenção da superfície do solo exposta aos agentes erosivos provocou perdas significativas no conteúdo de carbono e nitrogênio total. O sistema plantio direto com utilização de adubos verdes de verão (mucuna) e de inverno (azevém+ervilhaca) promoveu incrementos no estoque de carbono orgânico total do solo na camada superficial, de 0,0 – 0,05 m, em relação a seu estoque inicial. Contudo, na camada de 0,0 – 0,20 m de profundidade, nenhum sistema de culturas avaliado alcançou os valores encontrados no tratamento referência, no caso, o campo nativo. Os resultados referentes à conservação do solo e da água foram surpreendentes. A manutenção da superfície do solo exposta às condições climáticas e à ação erosiva da chuva, por 16 anos, determinou a perda progressiva de uma camada de solo de aproximadamente 1 cm de espessura por ano, equivalente a aproximadamente 150 t ha⁻¹ ano⁻¹ de solo. O sistema plantio direto promoveu, em alguns anos, perdas de água menores do que as verificadas em campo nativo. Em comparação com as perdas verificadas em solo permanentemente descoberto, a redução das perdas de solo pelo sistema plantio direto chegou a 99,9%. O plantio direto foi mais eficiente em reduzir as perdas de solo do que as perdas de água das áreas com sistemas de culturas. As maiores precipitações e as chuvas mais erosivas ocorreram nos meses de outubro a março, coincidindo com o período destinado à implantação e a colheita de grãos das culturas de verão, para as condições de Santa Maria, RS.

Palavras-chave: plantio direto, rotação de culturas, adubos verdes, conservação do solo, qualidade do solo.

ABSTRACT

Doctorate Thesis

Graduate Program in Agricultural Engineering
Federal University of Santa Maria

CROP SYSTEMS UNDER NO TILLAGE ADAPTED TO SMALL FARM AND IT'S RELATIONSHIP WITH EROSION AND ATTRIBUTES OF A TYPIC PALEUDALF

Author: Mastrângello Enívar Lanzasova

Adviser: Flávio Luiz Foletto Eltz

Date and Local: Santa Maria, November 16, 2009

Considering soil management systems, are rare the research projects that are carried on by a time period long enough to several soil attributes may be expressed conveniently. The no-till system influences several soil attributes and in this context, this study aimed to evaluate the effect of tillage system with the use of cover crops in winter and summer, on some chemical and physical soil attributes after long-term adoption of the system. Also aimed to evaluate the corn grain yield, dry matter production and carbon by different cropping systems, the stock of organic carbon and nitrogen in the soil, and also to investigate the no-till effect in reducing soil loss and water compared with the soil in its original state and the soil kept permanently uncovered and exposed to climate action. The experiment began in 1991 in a soil classified as Paleudalf. The experiment uses, since 2001, as treatments, the crop systems described as follows: (1) Corn (*Zea mays* L.) + jack bean (*Canavalia ensiformis* DC) / Soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) (MFP), (2) Soil Permanently Discovered (SDES), (3) Maize / fallow / soybean / fallow (POU), (4) Corn / ryegrass (*Lolium multiflorum* Lam) + common vetch (*Vicia sativa*) / soybean / common vetch + rye grass (ryegrass) (AZEV), (5) Maize + velvet bean (*Stylobium cinereum*) / Soybean (MUC), (6) Native pasture (CNA), and (7) Maize / oilseed radish (*Raphanus sativus* L. var. *oleiferus* Metzg.) / Soybean / oilseed radish (NFO). The results showed that the soil permanently uncovered causes severe damages in attributes of soil fertility, mainly the content of organic matter and soil potassium. The analysis of only soil pH was not sufficient to characterize the state of soil acidity, it is necessary to know the concentration of other components such as aluminum exchangeable and levels of calcium + magnesium. The residual effect of lime application before the implementation of no-tillage, in the value of pH, exchangeable aluminum and phosphorus, exceed 16 years. There was a direct relationship between the pH of the soil and its organic matter content, and an inverse relationship between the value of pH and aluminum, with the increasing depth in the soil for all treatments. For the physical attributes evaluated, the results showed that the maintenance of the soil surface permanently unprotected promotes rapid degradation of them, with formation of surface sealing and reduced water infiltration. The soil total porosity and macroporosity, 0.0.- 0.10 m depth, were closely related. The resistance penetration showed higher resistance in the surface layer (up to 0.03 m) of treatment SDES, and NFO presented the highest values at depths of 0.16 and 0.18 m.

Lower rates of water infiltration in soil were observed over all time periods (5, 10, 15, 20, 30, 60, 90 and 120 min) studied, in the treatments SDES and CNA, while the others stay constantly above these and similar. No-tillage with the use of cover crops, after a long period of use, was efficient in maintaining physical attributes, such as density and porosity of soil conditions favorable to plant growth, while other attributes that improved, as the rate of water infiltration, compared with its initial condition of native pastures. Regarding the production of corn, no-till system using green manure in summer and winter, after a long period, provided higher yields than systems that use fallow. The soil cultivation from a native condition determined losses in their organic carbon content, but this can be recovered with the use of no-tillage system with a high input of plant residues rich in carbon and nitrogen. Maintenance of the surface soil exposed to erosion for a long period, caused significant losses in its carbon content and total nitrogen. No-tillage with the use of summer green manures (velvet bean) and winter (rye + vetch), promoted increases in the organic carbon stock in the soil layer of 0.0 – 0.05 m in relation to their initial stock. However, the layer from 0.0 to 0.20 m depth, none crop system has reached the rated values found in the reference treatment, in this case, the native grasses. The results for soil and water conservation were amazing. The maintenance of soil surface exposed rain erosive action for a long period, led to the progressive loss of a soil layer of about 1 cm per year, equivalent to approximately 150 t ha^{-1} of soil. No-tillage had, in some years, water losses smaller than those found under native pasture. Compared with the losses sustained in soil continuously discovered, the reduction of soil loss by no-tillage system reached 99.9%. No-tillage was more effective in reducing soil loss than the loss of water in crop systems. The wettest and most erosive rains occurred in the months from October to March, coinciding with the period for the development and the grain harvest of summer crops, for the conditions of Santa Maria, RS.

Key words: no-tillage, crop rotation, green manure, soil conservation, soil quality

LISTA DE TABELAS

		página
Tabela 1	Histórico dos sistemas de culturas utilizados em um experimento de longa duração, implantado num Argissolo Vermelho de Santa Maria – RS, no período de 1991 a 2008.....	31
Tabela 2	Densidade do solo (Ds), porosidade total (Pt), macroporosidade (Ma) e microporosidade do solo (Mi), nas profundidades de 0,00 – 0,08 m e 0,08 – 0,16 m, nos sistemas de culturas avaliados em 1992, no primeiro ano da instalação do experimento.....	47
Tabela 3	Densidade do solo (Ds), porosidade total (Pt), macroporosidade (Ma) e microporosidade (Mi) de um Argissolo Vermelho submetido a diferentes sistemas de culturas em plantio direto, após 16 anos da implantação do experimento.....	49
Tabela 4	Resultados das avaliações de pH, alumínio e cálcio + magnésio, em seis camadas no solo, nos sistemas de culturas estudados, após a colheita da safra de verão 2006/2007.....	83
Tabela 5	Matéria orgânica, fósforo e potássio, em seis camadas de um Argissolo Vermelho submetido a diferentes sistemas de culturas em plantio direto durante 16 anos.....	88
Tabela 6	Atributos da acidez de um Argissolo Vermelho submetido a diferentes sistemas de culturas, em duas épocas de avaliação.....	93
Tabela 7	Atributos de fertilidade de um Argissolo Vermelho submetido a diferentes sistemas de culturas, em duas épocas de avaliação.....	95
Tabela 8	Capacidade de troca de cátions efetiva (CTC), soma de bases (S) e saturação da CTC a pH 7,0 por bases (V), em um Argissolo Vermelho submetido a diferentes sistemas de culturas, em seis profundidades no perfil do solo.....	97
Tabela 9	Rendimento de grãos de milho em onze safras agrícolas, cultivado em plantio direto num Argissolo Vermelho de textura franco-arenosa no município de Santa Maria – RS.....	114

Tabela 10	Precipitação pluviométrica observada durante o ciclo da cultura do milho (novembro a março) nas onze safras agrícolas de um experimento de longa duração, em um Argissolo Vermelho de Santa Maria - RS.....	118
Tabela 11	Relação entre a produção de grãos de milho nos diferentes sistemas de culturas avaliados e precipitação pluviométrica ocorrida durante os meses correspondentes às safras agrícolas.....	119
Tabela 12	Produção de matéria seca pela cultura do milho, cultivado em plantio direto em diferentes sistemas de culturas, em onze safras agrícolas, num Argissolo Vermelho de Santa Maria – RS.....	120
Tabela 13	Carbono (C), nitrogênio (N) e relação carbono/nitrogênio (C/N) nos adubos verdes de verão (feijão de porco e mucuna, no ano 2008) e inverno (nabo forrageiro e consorciação azevém + ervilhaca, em 2007) utilizados nos diferentes sistemas de culturas estudados.....	121
Tabela 14	Produção de matéria seca pelos adubos verdes de inverno e verão, cultivados em diferentes sistemas de culturas durante a execução de um experimento de longa duração, num Argissolo Vermelho, em Santa Maria – RS.....	123
Tabela 15	Carbono orgânico total, em seis profundidades de um Argissolo Vermelho submetido a diferentes sistemas de culturas em plantio direto, em Santa Maria – RS.....	126
Tabela 16	Carbono (C), nitrogênio (N) e relação carbono/nitrogênio (C/N) na cultura do milho, cultivado em plantio direto, na safra agrícola 2007/2008, em diferentes sistemas de culturas.....	128
Tabela 17	Carbono adicionado ao solo pela cultura do milho em onze safras agrícolas, durante a execução de um experimento de longa duração num Argissolo Vermelho de Santa Maria – RS. (valores estimados).....	130
Tabela 18	Nitrogênio total no solo, em seis profundidades de um Argissolo Vermelho submetido a diferentes sistemas de culturas, após longo período de adoção.....	132

Tabela 19	Estoque de carbono orgânico total do solo (ECS) em sete camadas de um Argissolo Vermelho submetido a diferentes sistemas de culturas em plantio direto, após 16 anos da implantação do experimento, a partir de um campo nativo.....	134
Tabela 20	Perdas mensais de solo acumuladas no período de abril de 1992 a março de 2008, em diferentes sistemas de culturas, num Argissolo Vermelho em Santa Maria – RS.....	153
Tabela 21	Balanço entre taxa de formação e taxa de perdas de solo, em diferentes sistemas de culturas sob plantio direto, em um campo nativo e num solo descoberto, num experimento de perdas de solo e água implantados em um Argissolo Vermelho de Santa Maria – RS.....	172
Tabela 22	Perdas totais de solo por ano de execução de um experimento com 16 anos de duração, implantado em um Argissolo Vermelho, submetido a diferentes sistemas de culturas em plantio direto, em solo descoberto e em campo nativo, em Santa Maria – RS.....	180
Tabela 23	Perdas anuais de solo verificadas na parcela padrão, erosividade total da chuva e precipitação pluviométrica total por ano de execução de um experimento com 16 anos de duração, implantado em um Argissolo Vermelho em Santa Maria – RS.....	181
Tabela 24	Perdas de água mensais acumuladas durante o período compreendido entre abril de 1995 e março de 2008, em diferentes sistemas de culturas, num Argissolo Vermelho em Santa Maria – RS.....	184
Tabela 25	Perdas totais de água acumuladas em cada ano de condução de um experimento de longa duração, num Argissolo Vermelho submetido a diferentes sistemas de culturas em plantio direto, em campo nativo e num solo descoberto, em Santa Maria – RS.....	201
Tabela 26	Precipitação pluviométrica mensal e anual obtida de registros de pluviômetro instalado no 8° Distrito de Meteorologia de Santa Maria - RS, localizado no Departamento de Fitotecnia da UFSM, no período compreendido entre abril de 1992 a março de 2008.....	204
Tabela 27	Erosividade mensal, anual, e total da chuva, calculada pelo índice EI_{30} , no período de abril de 1992 a março de 2008.....	210

Tabela 28	Erodibilidade (fator K) de um Argissolo Vermelho, no período compreendido entre abril de 1992 e março de 2008, em Santa Maria –RS.....	214
Tabela 29	Razão de perdas de solo (RPS) estimada para cada cultura utilizada no período abril-setembro (referente às plantas de cobertura do solo de inverno), nos respectivos anos em que foram cultivadas.....	218
Tabela 30	Razão de perdas de solo (RPS) estimada para as culturas da soja e milho, cultivadas no período outubro-março, nos respectivos anos em que foram cultivadas, e para o campo nativo no respectivo período.....	219
Tabela 31	Estimativa do fator “C” da Equação Universal de Perdas de Solo, para diferentes sistemas de culturas, em cada ano em que foram utilizados, em um experimento de perdas de solo e água num Argissolo Vermelho de Santa Maria – RS.....	221

LISTA DE FIGURAS

	página	
Figura 1	Vista aérea da área experimental onde se localizaram as parcelas com os tratamentos avaliados. A seta indica a trincheira onde foram alocadas as caixas coletoras do material erodido, logo abaixo da extremidade inferior das parcelas.....	32
Figura 2	Relação entre porosidade total (Pt) e densidade do solo (Ds) na camada 0,0 - 0,20 m em um Argissolo Vermelho submetido a diferentes sistemas de culturas em plantio direto, após 16 anos de manejo.....	53
Figura 3	Relação entre macroporosidade (Ma) e densidade do solo (Ds) na camada 0-0,20 m em um Argissolo Vermelho submetido a diferentes sistemas de culturas em plantio direto, após 16 anos de manejo.....	54
Figura 4	Resistência do solo ao penetrômetro, avaliada por um penetrômetro digital, em um Argissolo Vermelho após 16 anos de utilização de diferentes sistemas de culturas, em plantio direto.....	56
Figura 5	Umidade gravimétrica de um Argissolo Vermelho submetido a 16 anos de utilização de diferentes sistemas de culturas, em sistema plantio direto.....	58
Figura 6	Taxa de infiltração de água em um Argissolo Vermelho submetido a diferentes sistemas de culturas em plantio direto, após 16 anos de utilização.....	60
Figura 7	Relação entre macroporosidade da camada 0-0,20 m e lâmina de água infiltrada em um Argissolo Vermelho submetido a diferentes sistemas de culturas em plantio direto, após longo período de utilização.....	62
Figura 8	Evolução temporal da densidade de um Argissolo Vermelho submetido a diferentes sistemas de culturas, em duas camadas de profundidade no perfil.....	64
Figura 9	Evolução temporal da macroporosidade de um Argissolo Vermelho submetido a diferentes sistemas de culturas, em duas camadas de profundidade no perfil.....	65

Figura 10	Relação entre o pH do solo em água e o teor de alumínio trocável, na camada de 0,10 m, nos diferentes sistemas de culturas avaliados.....	84
Figura 11	Relação entre pH em água e teor de matéria orgânica do solo na camada de 0,0 - 0,10 m nos diferentes sistemas de culturas estudados.....	86
Figura 12	Relação entre matéria orgânica do solo e capacidade de troca de cátions, em seis camadas de um Argissolo Vermelho, submetido a diferentes sistemas de culturas sob plantio direto, em campo nativo e num solo descoberto.....	99
Figura 13	Relação entre matéria orgânica do solo e soma de bases, em seis camadas de um Argissolo Vermelho, submetido a diferentes sistemas de culturas sob plantio direto, em campo nativo e num solo descoberto.....	100
Figura 14	Rendimento de grãos de milho em onze safras agrícolas, cultivado em diferentes sistemas de culturas sob plantio direto, em um Argissolo Vermelho de textura franco-arenosa no município de Santa Maria – RS.....	115
Figura 15	Rendimento de grãos de milho na safra agrícola 2006/2007, cultivado em diferentes sistemas de culturas sob plantio direto, em um Argissolo Vermelho de textura franco-arenosa no município de Santa Maria – RS.....	116
Figura 16	Relação entre a produção de matéria seca pelo milho (PMS) e rendimento de grãos de milho (RG), na média das onze safras agrícolas (a) e na produção total acumulada nas onze safras (b).....	122
Figura 17	Relação entre o conteúdo de nitrogênio total no solo e o conteúdo de carbono orgânico total, em três profundidades no perfil de um Argissolo Vermelho submetido a diferentes sistemas de culturas.....	135
Figura 18	Relação entre a quantidade de carbono adicionado ao solo pela cultura do milho (média dos onze culturass) e carbono orgânico total no solo, em quatro profundidades no perfil de Argissolo Vermelho submetido a diferentes sistemas de culturas em plantio direto.....	137
Figura 19	Perdas mensais de solo em diferentes sistemas de culturas sob plantio direto, em solo descoberto e num campo nativo, observadas durante o período abril de 1992 a março de 2008, num Argissolo Vermelho em Santa Maria – RS.....	154

Figura 20	Distribuição relativa das perdas de solo nos meses do ano, em diferentes sistemas de culturas sob plantio direto, em um solo descoberto, e num campo nativo, em Santa Maria - RS.....	156
Figura 21	Índice de erosividade da chuva mensal e precipitação pluviométrica mensal ocorrida no período de abril de 1992 a março de 2008, em Santa Maria – RS.....	157
Figura 22	Relação entre o índice de erosividade da chuva mensal e precipitação pluviométrica mensal verificada no período de abril de 1992 a março de 2008, em Santa Maria – RS.....	158
Figura 23	Relação entre precipitação pluviométrica mensal e perdas de solo mensais médias em diferentes sistemas de culturas sob plantio direto, no período de abril de 1992 a março de 2008, em Santa Maria – RS.....	159
Figura 24	Relação entre o índice de erosividade da chuva mensal e perdas de solo mensais médias em diferentes sistemas de culturas sob plantio direto, implantadas em um Argissolo Vermelho, no período de abril de 1992 a março de 2008, em Santa Maria – RS.....	160
Figura 25	Perdas de solo acumuladas no período abril-setembro, em 16 anos de condução de um experimento com diferentes sistemas de culturas em plantio direto, em solo descoberto e num campo nativo.....	162
Figura 26	Perdas de solo acumuladas no período outubro-março, em 16 anos de condução de um experimento com diferentes sistemas de culturas em plantio direto, em solo descoberto e num campo nativo.....	163
Figura 27	Perdas de solo acumuladas no período outubro-março, em 16 anos de condução de um experimento , em um Argissolo Vermelho com diferentes sistemas de culturas sob plantio direto.....	164
Figura 28	Relação entre perdas de solo verificadas no tratamento SDES e precipitação pluviométrica ocorrida nos períodos 1 (abril-setembro) e 2 (outubro-março) em Santa Maria –RS, considerando os totais acumulados em cada um dos 16 anos de avaliação do experimento.....	165

Figura 29	Relação entre a erosividade total anual da chuva (EI_{30}) e perdas totais de solo verificadas na parcela padrão de experimentos de perdas de solo, em um Argissolo Vermelho de Santa Maria – RS.....	166
Figura 30	Relação entre a erosividade total da chuva nos períodos abril-setembro e outubro-março, e perdas totais de solo verificadas em solo descoberto.....	167
Figura 31	Distribuição relativa dos valores totais de precipitação pluviométrica, índice de erosividade das chuvas, e perdas de solo no tratamento solo descoberto, em dois períodos durante o ano agrícola (abril-setembro e outubro-março).....	169
Figura 32	Perdas de solo acumuladas em 16 anos de condução de um experimento com diferentes sistemas de culturas sob plantio direto, em solo descoberto e em campo nativo, em um Argissolo Vermelho de Santa Maria, RS.....	171
Figura 33	Perdas de solo acumuladas em 16 anos de condução de um experimento com diferentes sistemas de culturas sob plantio direto, e num campo nativo, em um Argissolo Vermelho de Santa Maria, RS.....	175
Figura 34	Detalhe das parcelas experimentais onde foram instalados os tratamentos solo descoberto (SDES, duas parcelas ao centro), milho + feijão de porco/soja (MFP, no canto superior à esquerda), e, pousio (POU, no canto superior à direita). *Entre os tratamentos SDES e POU há um espaço com vegetação natural, onde se pode comparar o desnível entre as parcelas ocasionado pela ocorrência contínua de erosão hídrica.....	179
Figura 35	Relação entre precipitação pluviométrica total anual e perdas de solo totais anuais verificadas no tratamento solo descoberto, no período entre abril de 1992 e março de 2008, num Argissolo Vermelho de Santa Maria – RS.....	182
Figura 36	Perdas mensais médias de água em diferentes sistemas de culturas sob plantio direto, em solo descoberto e num campo nativo, observadas durante o período 1995-2008, num Argissolo Vermelho em Santa Maria –RS.....	186
Figura 37	Distribuição relativa das perdas mensais de água em diferentes sistemas de culturas sob plantio direto, em solo descoberto, e num campo nativo.....	188

Figura 38	Distribuição relativa da precipitação pluviométrica mensal e da erosividade mensal da chuva, durante o período compreendido entre abril de 1995 e março de 2008, em Santa Maria – RS.....	189
Figura 39	Relação entre precipitação pluviométrica mensal e perdas mensais de água em diferentes sistemas de culturas sob plantio direto, em solo descoberto e em campo nativo, num Argissolo Vermelho, no período compreendido entre abril de 1995 e março de 2008, em Santa Maria – RS.....	190
Figura 40	Perdas de água acumuladas no período abril - setembro, em 16 anos (1992-2008) de condução de um experimento de longa duração, em um Argissolo Vermelho com diferentes sistemas de culturas, e num campo nativo, em Santa Maria - RS.....	191
Figura 41	Perdas de água acumuladas no período outubro - março, em 16 anos (1992 - 2008) de condução de um experimento de longa duração, em um Argissolo Vermelho com diferentes sistemas de culturas sob plantio direto, e num campo nativo, em Santa Maria – RS.....	192
Figura 42	Perdas de água em diferentes sistemas de culturas sob plantio direto e num campo nativo de Santa Maria – RS, nos períodos abril-setembro e outubro-março, ao final de 16 anos de avaliação....	194
Figura 43	Relação entre a precipitação pluviométrica total verificada nos períodos abril-setembro e outubro-março, e a perda total de água nos mesmos períodos, verificados na parcela padrão do experimento de perdas de solo, em um Argissolo Vermelho de Santa Maria – RS.....	195
Figura 44	Relação entre precipitação pluviométrica total anual e perdas de água totais anuais da parcela padrão do experimento de perdas de solo, num Argissolo Vermelho de Santa Maria – RS.....	196
Figura 45	Distribuição relativa dos valores totais de precipitação pluviométrica, índice de erosividade da chuva, e perdas de água no tratamento solo descoberto, em dois períodos distintos durante o ano agrícola (abril-setembro e outubro-março).....	197
Figura 46	Perdas de água acumuladas em 16 anos de condução de um experimento de longa duração, em um Argissolo Vermelho com diferentes sistemas de culturas sob plantio direto, em um campo nativo e num solo descoberto.....	199

Figura 47	Perdas de água acumuladas em 16 anos de condução de um experimento com diferentes sistemas de culturas sob plantio direto, e num campo nativo, em um Argissolo Vermelho de Santa Maria - RS.....	202
Figura 48	Precipitação pluviométrica total anual, entre os anos 1993 e 2007, registradas no 8° Distrito de Meteorologia de Santa Maria - RS. *Normal corresponde à média de 30 anos de observações, entre 1961 e 1990.....	206
Figura 49	Relação entre a erosividade total anual da chuva e a precipitação pluviométrica total anual, para o período compreendido entre abril de 1992 e março de 2008.....	207
Figura 50	Relação entre erosividade da chuva e precipitação pluviométrica, para os períodos compreendidos entre os meses de abril a setembro e de outubro a março de cada ano de condução de um experimento de longa duração, em Santa Maria – RS.....	209
Figura 51	Relação entre perdas de água anuais e perdas de solo anuais, verificadas na parcela padrão do experimento de perdas de solo, em um Argissolo Vermelho de Santa Maria – RS.....	211
Figura 52	Relação entre perdas de água e perdas de solo nos períodos abril-setembro e outubro-março de cada ano de execução do experimento, verificadas na parcela padrão do experimento de perdas de solo, em um Argissolo Vermelho de Santa Maria – RS.....	212
Figura 53	Relação entre a erosividade total anual da chuva (EI_{30}) e perdas totais de solo verificadas na parcela padrão do experimento de perdas de solo e água, em um Argissolo Vermelho de Santa Maria – RS.....	216

LISTA DE ANEXOS

	página
Anexo A	Perdas de solo, em $t\ ha^{-1}$, nos períodos abril-setembro e outubro-março, entre os anos 1992 e 2008..... 236
Anexo B	Perdas de água, em mm, nos períodos abril-setembro e outubro-março, entre os anos 1992 e 2008..... 246
Anexo C	Rendimento de grãos de soja na safra 2006-2007, em diferentes sistemas de culturas sob plantio direto..... 257
Anexo D	Rendimento de matéria seca de soja na safra 2006-2007, em diferentes sistemas de culturas sob plantio direto..... 258
Anexo E	Detalhe da determinação da taxa de infiltração de água no solo, pela metodologia dos duplos anéis concêntricos (a), e da coleta de amostras para determinação da densidade e porosidade do solo (b)..... 269
Anexo F	Detalhe da parcela experimental com a cultura do nabo forrageiro em estágio de pleno florescimento (a) e de uma parcela com a cultura do milho + mucuna (b)..... 260
Anexo G	Detalhe da parcela experimental com a utilização de pousio invernal, ao centro, e de uma parcela com o consorcio azevém + ervilhaca, à direita (a) e de uma parcela com o consorcio entre milho + feijão de porco (b)..... 261
Anexo H	Detalhe de uma parcela experimental com a cultura da soja (a) e da parcela com o campo nativo (b)..... 262
Anexo I	Detalhe das calhas coletoras de enxurradas localizadas na parte inferior das parcelas experimentais (a) e da trincheira onde estão alocadas as caixas para armazenamento do solo e água advindos das parcelas (b)..... 263

INTRODUÇÃO GERAL

A agricultura brasileira apresentou intenso crescimento a partir de 1980, impulsionada principalmente pela expansão do culturas da soja. Tal crescimento é comprovado pela produção total de grãos no país, que passou de 60 milhões de toneladas em 1990 para 145 milhões de toneladas em 2008 (IBGE, 2008). Um dos principais fatores responsáveis por este considerável incremento de produção, capaz de colocar o país no papel de uma das nações mais produtoras do mundo, foi em primeiro momento o aumento da área cultivada, seguido pelo aumento da produtividade, alcançada devido à crescente adoção de tecnologias. Em 1994, havia 40 milhões de hectares cultivados e, para o ano de 2020, estima-se que essa área chegue a 90 milhões de hectares (CONAB, 2008), ou seja, um aumento de mais de 100% na área total em 26 anos. Assim, a fronteira agrícola, apesar de ser considerada esgotada em algum momento, mostra que ainda existe uma área muito grande a ser incorporada no sistema produtivo.

No Estado do Rio Grande do Sul também houve aumento considerável na área cultivada e, em conseqüência, na produção total de grãos, onde as principais culturas são a soja e o milho, seguidas pelo arroz, trigo e feijão. O que outrora era considerado como saturado, ou seja, sem possibilidade de aumento da área cultivada com lavouras de grãos, agora passa a cultivar mais de seis milhões de hectares, aumentando a área semeada com soja em mais de um milhão de hectares, entre os anos 2000 e 2004 (MAPA, 2008). A maior parte das lavouras no RS é cultivada em sistema de plantio direto, que, apesar de ser conhecido por técnicos e produtores a partir do final da década de 1970, só foi realmente disseminado e expandido expressivamente a partir do início da década de 1990. A partir daí a substituição do sistema de preparo convencional do solo pelo sistema de plantio direto não parou de aumentar, sendo que, atualmente, o preparo convencional é preferencialmente realizado em áreas onde se precisa fazer o revolvimento do solo, ou em áreas com problemas de compactação do solo, ou, ainda, em áreas de culturas em que é realmente necessária esta operação, como hortas e pomares por exemplo.

De 1990 a 2006, a área brasileira de adoção do sistema plantio direto passou de pouco mais de dois milhões de hectares para mais de 25,5 milhões de hectares (FEBRAPD, 2009).

Perdas de solo da ordem de 24 toneladas por hectare por ano eram comuns em lavouras gaúchas na década de 1970 e 1980, pois as operações de lavração, aração, gradagem e escarificação, utilizadas no preparo do solo, coincidiam principalmente com as épocas de maior pluviosidade no RS, o que provocava graves problemas com a erosão hídrica (Eltz et al., 1984). Solo exposto, totalmente descoberto, recém preparado, chuvas de alta intensidade e/ou volume, declividade acentuada e falta de métodos complementares de conservação do solo, como o sistema de terraceamento e plantio em contorno, provocavam verdadeiras catástrofes no meio agrícola, provocando além da perda de produtividade das lavouras, perda de sementes e outros insumos agrícolas de alto custo ao produtor, perda da fração mineral do solo e da maior parte da matéria orgânica do mesmo. Ainda, freqüentemente causavam contaminação da água e mortandade de peixes e animais em rios, açudes, e quaisquer outras fontes de água, com os produtos químicos utilizados no cultivo das lavouras (Denardin et al., 2005).

Com a adoção do sistema plantio direto, a perda de solo por erosão hídrica reduziu drasticamente, pois, nesse manejo, os restos culturais permanecem na superfície do solo após a colheita de grãos, até serem decompostos, ou, até o próximo culturas. Ocorre que, ao mesmo tempo em que os agricultores adotavam o plantio direto, em detrimento ao preparo convencional, deixavam de adotar ou praticar algumas premissas básicas para o bom funcionamento do sistema, entre elas, o aporte contínuo, e em quantidade, de resíduos vegetais, a rotação de culturas, o culturas em contorno, e o respeito às condições de umidade do solo na hora de trabalhar com o maquinário agrícola ou na hora de realizar pastejos, ou seja, com o pisoteio animal. Tudo isso levou a problemas sérios de compactação do solo, recorrentes até hoje em boa parte das lavouras gaúchas. Na época de transição entre sistemas de manejo do solo, pesquisas e informações eram escassas e qualquer atitude tomada por parte de técnicos, pesquisadores e produtores era vista com desconfiança, pois, existia receio do que era novo e sem garantia de funcionalidade. Durante a década de 1980, a área de adoção do sistema plantio direto permaneceu praticamente estagnada. Atualmente, este sistema de manejo do solo adquire fundamental importância para o sucesso da agricultura gaúcha e

brasileira, uma vez que, além da diminuição da contaminação ambiental provocada pelas perdas de solo e água, há um considerável decréscimo no consumo de combustível no meio agrícola, pois não são mais necessárias as operações custosas de tempo, de combustível e de potência por parte dos tratores, como ocorria no preparo convencional do solo (Mielniczuk & Schneider, 1984).

Experimentos de longa duração, implantados no início da expansão do sistema plantio direto são ferramentas de extrema importância no estudo dos impactos que tal mudança de sistema de manejo do solo acarretou nos solos agrícolas do Estado do Rio Grande do Sul (Cogo, 2008). A dinâmica das propriedades químicas do solo, onde não ocorre o revolvimento rotineiro da camada superficial, a movimentação dos nutrientes no perfil do solo, a umidade e temperatura abaixo da camada de palha e resíduos vegetais que cobrem o solo, a intensa atividade microbiana e fauna edáfica em geral, a perda de solo em quantidades relativamente pequenas, entre outros aspectos, dentro do sistema plantio direto, são estudados e, com dados consistentes, apresentados neste tipo de experimento.

Um experimento de longa duração, na medida em que se afirmam os dados obtidos, no caso da erosão hídrica, mostra que o sistema plantio direto não apenas reduz consideravelmente as perdas de solo, em comparação com o preparo convencional ou com um solo mantido descoberto, mas, também proporciona incrementos gradativos na produtividade das culturas, na fertilidade do solo, no carbono orgânico e na matéria orgânica. Ainda, favorece o desenvolvimento das culturas devido a melhoria ou manutenção das propriedades físicas, em comparação com o estado original do solo, além da melhoria da qualidade ambiental, pela não contaminação de lençóis freáticos e, também, pelo potencial de mitigação de gases de efeito estufa, principalmente o dióxido de carbono (Amado et al., 2001).

Deve-se ressaltar que o plantio direto reduz consideravelmente, porém não elimina a erosão hídrica, ou o seu potencial risco de ocorrência. Isto é de fundamental importância devido ao fato de que, na medida em que os produtores não visualizam em suas lavouras sulcos de erosão e, dependendo do tipo de solo e da intensidade de chuva, até voçorocas, os mesmos não atendem as premissas básicas anteriormente citadas para o bom funcionamento do sistema plantio direto. Dessa maneira, acabam convivendo com um problema silencioso, a perda de água por escoamento superficial, a qual é favorecida pela pequena quantidade de palha

em superfície e pela baixa taxa de infiltração de água, devido principalmente ao problema de compactação do solo também supracitado.

Devido a estas e tantas outras informações obtidas em experimentos de longa duração, que tais experimentos devem ser conduzidos em maior quantidade e os que se encontram em andamento devem continuar sendo avaliados. Também, devem ser atualizados na medida em que se avança no conhecimento da agricultura moderna, pois, num mundo onde a produção de alimentos em quantidade e qualidade condiciona o pleno desenvolvimento de nações, problemas como a fome e a miséria somente serão resolvidos com uma agricultura forte, competitiva, produtiva e ambientalmente sustentável, praticada em todas as regiões do planeta.

HIPÓTESES

O sistema plantio direto, por realizar revolvimento mínimo do solo, proporciona adensamento da camada superficial após alguns anos de sua adoção em uma determinada área.

O sistema plantio direto, por manter a superfície do solo protegida, reduz as perdas de solo e água, em comparação com o sistema em que o solo é mantido permanentemente descoberto e com o solo sob vegetação natural.

A inclusão de adubos verdes de inverno e de verão, consorciados ou intercaladamente, proporciona incrementos gradativos na produtividade de grãos de milho, conforme aumenta o número de anos de sua utilização, devido ao fato de produzirem biomassa em quantidade e com qualidade.

A utilização de pousio no inverno proporciona maiores perdas de solo e água do que sistemas que utilizam adubos verdes de inverno, nas condições de solo e clima do presente estudo.

Os consorciamentos entre feijão de porco e milho, e entre mucuna e milho, no verão, promove maior rendimento de grãos de milho e maior adição de carbono e matéria orgânica ao solo do que o cultivo solteiro de milho.

Longo período (16 anos) de utilização do sistema plantio direto com inclusão de adubos verdes proporciona benefícios às propriedades químicas e físicas do solo, em comparação com o solo em seu estado original.

A manutenção permanente do solo descoberto, pela exposição à ação da chuva, determina a degradação de suas propriedades químicas e físicas, além de proporcionar elevadas perdas de solo e água.

OBJETIVOS

O objetivo geral do trabalho é avaliar os impactos de diferentes sistemas de culturas do solo sob plantio direto, em relação ao mesmo na sua condição original, e em relação a uma situação em que o solo é mantido constantemente sem cultivo, sem cobertura vegetal e exposto à ação da natureza, após 16 anos de implantação.

Os objetivos específicos do trabalho são os seguintes:

- Verificar os efeitos que o sistema plantio direto, sem tráfego de máquinas agrícolas, ocasiona na densidade, porosidade, taxa de infiltração de água e resistência do solo ao penetrômetro;
- Avaliar as perdas de solo e água em sistemas de culturas que envolvam adubos verdes de verão e inverno, em sistema plantio direto;
- Relacionar a erosividade da chuva com as perdas de solo e água verificadas em diferentes sistemas de culturas, em Santa Maria, RS;
- Avaliar o estoque de carbono e matéria orgânica do solo ao final de um período de 16 anos de execução do experimento;
- Verificar as alterações provocadas por diferentes sistemas de culturas no pH, teores de cálcio + magnésio, fósforo, potássio, alumínio, capacidade de troca de cátions, soma de bases e conteúdo de matéria orgânica do solo;
- Observar a evolução do rendimento de grãos de milho ao longo de 16 anos, bem como o fornecimento de matéria seca nos diferentes sistemas de culturas.

MATERIAL E MÉTODOS GERAL

Localização e caracterização da área experimental

O presente estudo foi realizado em área pertencente ao Departamento de Solos, localizado no campus da Universidade Federal de Santa Maria, distrito de Camobi, Santa Maria (coordenadas geográficas 29°42'39.00''S de latitude e 53°41'32.00''W de longitude), região fisiográfica da Depressão Central do Estado do Rio Grande do Sul, no período de abril de 2006 a março de 2008, e faz parte de um experimento de longa duração, com início no ano de 1991. O clima da região é do tipo Cfa, subtropical úmido, segundo a classificação de Köppen, com precipitação e temperatura média anual de 1.561 mm e 19,3°C, respectivamente (Brasil, 1973). O solo característico do local é classificado como Argissolo Vermelho Distrófico arênico (EMBRAPA, 1999), e pertence à unidade de mapeamento São Pedro (Streck et al., 2002). O experimento foi instalado em área que era mantida sob pastagem nativa, com predomínio de espécies gramíneas de estação quente, e apresentou, antes da instalação do experimento, na camada de 0 – 0,20 m de profundidade, os seguintes valores de granulometria e fertilidade do solo: 87 g kg⁻¹ de argila, 660 g kg⁻¹ de areia total, 253 g kg⁻¹ de silte, pH-H₂O = 4,50, P = 1,80 mg dm⁻³, K = 33 mg dm⁻³, M.O.= 24,6 g kg⁻¹, Al = 1,4 mmol_c dm⁻³, Ca + Mg = 2,6 cmol_c dm⁻³, CTC efetiva = 4,08 cmol_c dm⁻³, saturação por Al = 34,31 g kg⁻¹.

Histórico do experimento

O experimento de que o presente documento trata foi implantado em março de 1991, em área mantida até então sob campo nativo com predomínio de espécies gramíneas de ciclo estival. A fertilidade do solo foi corrigida com uma aplicação de calcário dolomítico (6,5 t ha⁻¹) e adubação de correção (130 kg ha⁻¹ de P₂O₅), incorporados com a realização de uma aração e duas gradagens, ambas em

nível. A partir do segundo culturas, todas as culturas foram implantadas em sistema de plantio direto.

A declividade média das parcelas experimentais é de 5,5%, e as suas dimensões são de 22 m de comprimento e 3,5 m de largura, totalizando 77 m², delimitadas por chapas de metal, constituindo parcelas padronizadas para a coleta de sedimentos e água produzidos por enxurradas. No total foram instaladas 14 parcelas experimentais, em sete tratamentos, com duas repetições cada. Posteriormente, uma das parcelas de campo nativo foi descartada por apresentar problemas de compactação.

A Tabela 1 apresenta os sistemas de culturas que foram utilizados desde a implantação do experimento até o ano de 2008. Mudanças foram introduzidas em alguns anos, como por exemplo, a substituição do tremoço azul no ano de 1995 pela cultura do azevém, devido a problemas de ataque severo de doenças como a antracnose. Para fins de rotação de culturas, também foram introduzidas, durante a condução do experimento, algumas culturas de grande utilização na agricultura regional, e de elevada qualidade e benefícios ao sistema plantio direto. Os sistemas de culturas propostos foram baseados na condição de plantio e tratos culturais manuais, característicos de agricultura familiar em áreas de minifúndios, sem uso da mecanização.

Foram produzidas, desde o início do projeto, duas Dissertações de Mestrado, Debarba (1993) e Seganfredo (1995), dezenas de resumos em anais de eventos, como congressos, reuniões e jornadas acadêmicas, dezenas de artigos científicos publicados em revistas reconhecidas na área, entre eles os trabalhos de Debarba & Amado (1997), Seganfredo et al., (1997), Pott et al., (1998), Streck et al., (1998), Amado et al., (2001) e Amado et al., (2002). Além disso, diversas palestras, cursos, boletins informativos, entre outras publicações, e agora, neste ano, a presente Tese de Doutorado, visando fazer uma avaliação geral de todo o período de execução do mesmo.

Tabela 1. Histórico dos sistemas de culturas utilizados em um experimento de longa duração, implantado num Argissolo Vermelho de Santa Maria – RS, no período de 1991 a 2008

Ano	Tratamentos (sistemas de culturas)						
	1	2	3	4	5	6	7
	Inv/Ver*	Inv/Ver	Inv/Ver	Inv/Ver	Inv/Ver	Inv/Ver	Inv/Ver
1991	POU/MFP**	POU/MI	CHIC/MI	AVP+ERV/MI	POU/MUC	CNA	TREAZ/MI
1992	RMFP/MFP	SDES/SDES	CHIC/MI	AVP+ERV/MI	RMUC/MUC	CNA	TREAZ/MI
1993	RMFP/MFP	SDES/SDES	POU/MI	AVP+ERV/MI	RMUC/MUC	CNA	TREAZ/MI
1994	RMFP/MFP	SDES/SDES	POU/MI	AVP+ERV/MI	RMUC/MUC	CNA	TREAZ/MI
1995	RMFP/GIRFP	SDES/SDES	POU/SOJ	AVP/SOJ	RMUC/GIRMUC	CNA	AZEV/SOJ
1996	RGIRFP/MFP	SDES/SDES	POU/MI	AZEV+ERV/MI	RGIRMUC/MUC	CNA	NFOR/MI
1997	RMFP/FPREFP	SDES/SDES	POU/SOJ	AVP/SOJA	RMUC/FPREMUC	CNA	AZEV/SOJ
1998	RFPREFP/MFP	SDES/SDES	POU/MI	AZEV+ERV/MI	RFPREMUC/MUC	CNA	NFOR/MI
1999	RMFP/MFP	SDES/SDES	POU/MI	AZEV/MI	RMUC/MUC	CNA	AVP/MI
2000	RMFP/MFP	SDES/SDES	POU/MI	AZEV+ERV/MI	RMUC/MUC	CNA	NFOR/MI
2001	RMFP/MFP	SDES/SDES	POU/MI	AZEV+ERV/MI	RMUC/MUC	CNA	NFOR/MI
2002	RMFP/SOJ	SDES/SDES	POU/SOJ	AZEV+ERV/SOJ	RMUC/SOJ	CNA	NFOR/SOJ
2003	POU/MFP	SDES/SDES	POU/MI	AZEV+ERV/MI	POU/MUC	CNA	NFOR/MI
2004	RMFP/SOJ	SDES/SDES	POU/SOJ	AZEV+ERV/SOJ	RMUC/SOJ	CNA	NFOR/SOJ
2005	POU/MFP	SDES/SDES	POU/MI	AZEV+ERV/MI	POU/MUC	CNA	NFOR/MI
2006	RMFP/SOJ	SDES/SDES	POU/SOJ	AZEV+ERV/SOJ	RMUC/SOJ	CNA	NFOR/SOJ
2007	POU/MFP	SDES/SDES	POU/MI	AZEV+ERV/MI	POU/MUC	CNA	NFOR/MI
2008	RMFP/SOJ	SDES/SDES	POU/SOJ	AZEV+ERV/SOJ	RMUC/SOJ	CNA	NFOR/SOJ

Inv = Inverno; Ver = Verão. ** POU = Pousio; MFP = Milho (*Zes mays*) + Feijão-de-Porco (*Canavalia ensiformis*); RMFP = Resíduos de Milho + Resíduos de Feijão-de-Porco; RMUC = Resíduos de Milho + Resíduos de Mucuna; GIRFP = Girassol (*Hellianthus annuus*) + Feijão-de-Porco; GIRMUC = Girassol + Mucuna; RGIRFP = Resíduos de Girassol + Resíduos de Feijão-de-Porco; RGIRMUC = Resíduos de Girassol + Resíduos de Mucuna; SDES = Solo Descoberto; CHIC = Chicharo (*Lathyrus sativus*); MI = Milho; MUC = Milho + Mucuna (*Stizolobium* sp.); CNA = Campo Nativo; TREAZ = Tremoço Azul (*Lupinus angustifolius*); AVP + ERV = Aveia Preta (*Avena strigosa*) + Ervilhaca (*Vicia Sativa*); SOJ = Soja (*Glycine max*); AZEV + ERV = Azevém (*Lolium multiflorum*) + Ervilhaca; NFOR = Nabo Forrageiro (*Raphanus sativus*); AZEV = Azevém; AVP = Aveia Preta; FPREFP = Feijão Preto (*Phaseolus vulgaris*) + Feijão-de-Porco; FPREMUC = Feijão Preto + Mucuna; RFPREFP = Resíduos de Feijão Preto + Resíduos de Feijão-de-Porco; RFPREMUC = Resíduos de Feijão Preto + Resíduos de Mucuna.

Na Figura 1 é apresentada uma vista aérea da área experimental, localizada próxima ao galpão de máquinas do Departamento de Solos da UFSM.



Figura 1. Vista aérea da área experimental onde se localizaram as parcelas com os tratamentos avaliados. A seta indica a trincheira onde foram alocadas as caixas coletoras do material erodido, logo abaixo da extremidade inferior das parcelas.

Delineamento experimental e tratamentos

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, com 7 tratamentos e 2 repetições. Cada parcela experimental foi delimitada por chapas de metal galvanizado, com 0,20 m de altura e introduzidas ao solo a uma profundidade de 0,10 m, de modo que enxurrada de fora das parcelas não entrasse e a enxurrada de dentro não saísse, o que permitiu que fossem coletadas as perdas de solo e água provenientes das enxurradas produzidas apenas dentro das parcelas, após cada chuva.

As dimensões de cada parcela foram de 3,5 m de largura e 22 m de comprimento, totalizando área útil de 77 m², com uma declividade média de 0,055 m m⁻¹.

Os tratamentos avaliados corresponderam aos seguintes sistemas de culturas: (1) Milho (*Zea mays L.*) + feijão de porco (*Canavalia ensiformis DC*)/soja (*Glycine max (L.) Merr.*) (MFP); (2) Solo permanentemente descoberto (SDES); (3) Milho/pousio/soja/pousio (POU); (4) Milho/azevém (*Lolium multiflorum Lam.*) + ervilhaca comum (*Vicia sativa*)/soja/azevém + ervilhaca comum (AZEV); (5) Milho + mucuna cinza (*Stizolobium cinereum*)/soja (MUC); (6) Campo nativo (CNA); e (7) Milho/nabo forrageiro (*Raphanus sativus L. var. oleiferus Metzg.*)/soja/nabo forrageiro (NFO). O solo do tratamento SDES foi mantido descoberto por meio de preparo convencional no sentido da declividade, realizado manualmente com pás e enxadas, por meio de capinas, manualmente utilizando enxadas, ou quimicamente utilizando herbicidas. Estes sistemas de culturas vêm sendo utilizados desde o ano de 2001, e a seqüência de culturas utilizadas nos anos anteriores é apresentada na Tabela 1.

Implantação, condução e manejo das culturas

Detalhes experimentais desde a implantação do experimento até o mês de março de 2006 são encontrados em Debarba (1993), Seganfredo (1995) e nos relatórios semestrais, dos anos seguintes, produzidos pelos demais bolsistas responsáveis pela execução das atividades em cada ano de vigência das respectivas bolsas de estudo. Do mês de abril de 2006 a março de 2008, o experimento foi conduzido da maneira descrita a seguir.

A cultura do milho foi semeada em 27 de novembro de 2006, e a cultura da soja em 19 de novembro de 2007, ambas com auxílio de uma semeadora manual (saraquá), enquanto o feijão de porco e a mucuna foram semeadas em sulcos produzidos com enxada, em nível, nas entrelinhas da cultura do milho, nos tratamentos MFP e MUC, respectivamente, em 20 de dezembro de 2007. A densidade de plantio utilizada para o feijão de porco foi de 60 kg ha⁻¹, e seguiu as recomendações técnicas para o seu cultivo consorciado com o milho, bem como a

mucuna, onde foram utilizados 40 kg de sementes por hectare (Barni et al., 2003). As culturas de azevém, ervilhaca e nabo forrageiro foram semeadas manualmente a lanço, sobre a resteva da cultura anterior, em 26 de maio de 2006, 27 de maio de 2007 e 20 de maio de 2008, nas densidades de semeadura recomendadas para cada espécie, sendo 20 e 40 kg ha⁻¹ de sementes no consórcio entre azevém e ervilhaca, respectivamente, e 20 kg ha⁻¹ de sementes de nabo forrageiro (Santos et al., 2002). Para facilitar o contato da semente com o solo, após a semeadura a lanço das sementes, uma suave movimentação da resteva da cultura anterior foi executada, com auxílio de um rastelo de aço. As adubações utilizadas para a cultura da soja e milho seguiram as recomendações da COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO - CFS RS/SC (2004), após laudo de análise de solo.

A soja, cultivar AL72, foi inoculada com Rizóbium específico e estabelecida com espaçamento entrelinhas de 0,45 m, totalizando população final estimada em 250000 plantas por hectare. A adubação potássica e fosfatada foi realizada no momento da semeadura, a lanço na superfície do solo. Os demais tratos culturais aplicados seguiram as recomendações técnicas vigentes para o Estado do Rio Grande do Sul (Reunião...,2006).

O milho, cultivar Pioneer 3069, de ciclo superprecoce e elevado potencial de rendimento, foi estabelecido com espaçamento de 0,90 m entrelinhas, totalizando população estimada em 60000 plantas por hectare. O espaçamento utilizado foi definido em função de proporcionar condições favoráveis para a semeadura dos adubos verdes de verão, bem como o seu crescimento e desenvolvimento. A primeira parcela da adubação nitrogenada, bem como o total de adubação potássica e fosfatada, foram aplicadas no momento da semeadura, a lanço na superfície do solo. O restante da recomendação da adubação nitrogenada foi aplicada na forma de uréia, a lanço em superfície, em duas épocas, que corresponderam às fases de desenvolvimento que a cultura apresentava, de 4 a 6 e de 8 a 10 folhas, respectivamente.

Os demais tratos culturais realizados obedeceram às recomendações técnicas para a cultura do milho vigentes no RS (Reunião..., 2005). As demais culturas não receberam nenhum tipo de adubação, e o manejo final, por meio de dessecação com herbicida, foi realizado no início do mês de outubro de cada ano de condução do trabalho, coincidindo com a fase de pleno florescimento das culturas de inverno. Nas parcelas mantidas em pousio invernal, as espécies foram desseçadas

com herbicidas após a colheita de grãos das culturas de verão, permanecendo assim até o momento da semeadura da nova cultura de verão.

Após a colheita de grãos de milho, a mucuna e o feijão de porco continuaram se desenvolvendo e cobrindo o solo, até que a ocorrência de geadas ou frio intenso interrompesse seus ciclos, o que, variando de ano a ano, nas condições climáticas do Estado do Rio Grande do Sul, pode acontecer desde o mês de maio até o mês de setembro. O feijão de porco possui ciclo de desenvolvimento favorável ao seu cultivo, sendo possível completar sua fase reprodutiva e produzir sementes em grande quantidade. A mucuna tem ciclo mais longo do que o feijão de porco, e certa dificuldade em realizar a produção de flores e sementes em função de baixas temperaturas nos meses de outono. Todas as operações de manejo realizadas nas culturas, desde semeadura, aplicação de produtos químicos e colheita, foram realizados manualmente e com auxílio de ferramentas normalmente utilizadas em agricultura de pequena propriedade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMADO, T.J.C.; BAYER, C.; ELTZ, F.L.F. & BRUM, A.C.R. Potencial de culturas de cobertura em acumular carbono e nitrogênio no solo no plantio direto e a melhoria da qualidade ambiental. R. Bras. Ci. Solo, 25:189-197, 2001.

AMADO, T.J.C.; PROCHNOW, D. & ELTZ, F.L.F. Perdas de solo e água em períodos de anomalias climáticas: “El niño” e “La niña” no sul do Brasil. R. Bras. Ci. Solo, 26:819-827, 2002.

BARNI, N.A. et al. Plantas recicladoras de nutrientes e de proteção do solo, para uso em sistemas equilibrados de produção agrícola. Porto Alegre: FEPAGRO, 2003. 84p. (BOLETIM FEPAGRO, 12).

BRASIL. Ministério da Agricultura. Departamento Nacional de Pesquisa Agropecuária. Divisão de Pesquisa Pedológica. Levantamento de Reconhecimento de Solos do Estado do Rio Grande do Sul. Recife: 1973. 431 p. (Boletim técnico, 30).

COGO, N.P. Processos erosivos e ações mitigadoras: o grande desafio do cientista de solo na proteção do planeta. In: XVII Reunião Brasileira de Manejo e Conservação do Solo e da Água. Rio de Janeiro, RJ: Embrapa Solo e Agrobiologia, 2008.

COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO – CFS RS/SC. Manual de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. 10.ed. Porto Alegre, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo – Núcleo Regional Sul; EMBRAPA/CNPT, 2004. 400p.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Safras. Disponível em: [HTTP://www.conab.gov.br/download/safra/SojaSerieHist.xls](http://www.conab.gov.br/download/safra/SojaSerieHist.xls). Acesso em 26 de fevereiro de 2008.

DEBARBA, L. Sistemas de produção de milho adaptados à conservação do solo. Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, 1993. 150 p. (Dissertação de Mestrado).

DEBARBA, L. & AMADO, T.J.C. Desenvolvimento de sistemas de produção de milho no sul do Brasil com características de sustentabilidade. R. Bras. Ci. Solo, 21:473-480. 1997.

DENARDIN, J.E.; KOCHHANN, R.A.; FLORES, C.A.; FERREIRA, T.N.; CASSOL, E.A.; MONDARDO, A. & SCHWARZ, R.A. Manejo da Enxurrada em Sistema Plantio Direto. Porto Alegre: Fórum Estadual de Solo e Água, 2005. 88p.

ELTZ, F.L.F.; CASSOL, E.A.; SCOPEL, I. & GUERRA, M. Perdas de solo por erosão em diferentes sistemas de manejo e coberturas vegetais em Solo Laterítico Bruno Avermelhado Distrófico (S. Jerônimo) sob chuva natural. R. Bras. Ci. Solo, 8: 117-125, 1984.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Brasília, 1999. 412p.

FEBRAPDP – FEDERAÇÃO BRASILEIRA DE PLANTIO DIRETO NA PALHA. Evolução da Área de Plantio Direto no Brasil 1972/2001. Disponível em: <http://www.febrapdp.org.br/arquivos/BREvolucaoPD2002a2006.pdf>. Acesso em 15 de janeiro de 2009.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Levantamento sistemático da produção agrícola. v.18, supl. p.1-14, Rio de Janeiro, Dez. 2008.

MAPA - MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. Agricultura Brasileira em números. Anuário Brasileiro da Agricultura 2005. Disponível em:http://www.agricultura.gov.br/pls/portal/docs/PAGE/MAPA/ESTATISTICAS/AGRICULTURA_EM_NUMEROS_2005/03.02.19_1.XLS. Acesso em 05 de janeiro de 2008.

MIELNICZUK, J. & SCHNEIDER, P. Aspectos sócio-econômicos do manejo de solos no sul do Brasil. In: I SIMPÓSIO DE MANEJO DO SOLO E PLANTIO DIRETO NO SUL DO BRASIL. III SIMÓSIIO DE CONSERVAÇÃO DE SOLO DO PLANALTO. Passo Fundo, RS. 1984. p. 3-27.

POTT, C.A.; AMADO, T.J.C.; SANTI, A.; PROCHNOW, D. & BRUM, A.C.R. El niño confirma eficiência do plantio direto no controle da erosão. R. Plantio Direto, 46:24-28. 1998.

REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO SUL, 34. Indicações técnicas para a cultura da soja no Rio Grande do Sul e em Santa Catarina 2006/2007. Pelotas, Embrapa Clima Temperado, 2006. 237 p.

REUNIÃO TÉCNICA DE PESQUISA DE MILHO E SORGO DO RS, 2005. Porto Alegre. Indicações técnicas para culturas do milho e sorgo no Rio Grande do Sul 2005/2006. 155p.

SANTOS, H.P.; FONTANELI, R.S.; BAIER, A.C. & TOMM, G.O. Principais forrageiras para integração lavoura-pecuária, sob Plantio Direto, nas Regiões Planalto e Missões do Rio Grande do Sul. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2002. 142 p.

SEGANFREDO, M.L. Sistemas de culturas adaptados à produtividade e a conservação do solo. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Santa Maria, 1995. 95 p.

SEGANFREDO, M.L.; ELTZ, F.L.F. & BRUM, A.C.R. Perdas de solo, água e nutrientes por erosão em sistemas de culturas em plantio direto. R. Bras. Ci. Solo, 21:287-291, 1997.

STRECK, C.A.; AMADO, T.J.C.; BRUM, A.C.R.; POTT, C.A; PROCHNOW, D. & ELTZ, F.L.F. Sistemas de produção de milho sob plantio direto adaptados à conservação do solo. In: SALÃO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 10., FEIRA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL, 7. Porto Alegre, 1998. Anais. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1998. p.103.

STRECK, E.V.; KAMPF, N.; DALMOLIN, R.S. et al. Solos do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: Emater/RS – UFRGS, 2002. 126 p.

1 CAPÍTULO I

ALTERAÇÕES EM ATRIBUTOS FÍSICOS DE UM ARGISSOLO VERMELHO EM SISTEMAS DE CULTURAS SUBMETIDOS A 16 ANOS DE MANEJO CONSERVACIONISTA

1.1 RESUMO

O sistema de plantio direto, por não proporcionar revolvimento da camada superficial do solo, apresenta efeito significativo nas propriedades físicas, caracterizado inicialmente por um adensamento dessa camada. Porém, com o incremento do tempo de adoção, pode apresentar benefícios à porosidade, densidade, agregação e infiltração de água no solo. Efeitos positivos são esperados considerando que algumas premissas básicas sejam atendidas para o bom funcionamento do sistema, entre elas o uso de rotação de culturas, manutenção da superfície do solo permanentemente coberta e protegida por plantas e seus resíduos, e o respeito à condição de umidade do solo no momento de manejá-lo. O presente estudo teve como objetivos avaliar o efeito do sistema plantio direto com uso de plantas de cobertura de inverno e verão em alguns atributos físicos de um Argissolo Vermelho, após 16 anos de adoção do sistema. O experimento utiliza como tratamentos os seguintes sistemas de culturas: (1) Milho (*Zea mays L.*) + feijão de porco (*Canavalia ensiformis DC*)/soja (*Glycine max (L.) Merr.*) (MFP); (2) Solo permanentemente descoberto (SDES); (3) Milho/pousio/soja/pousio (POU); (4) Milho/azevém (*Lolium multiflorum Lam.*) + ervilhaca comum (*Vicia sativa*)/soja/azevém + ervilhaca comum (AZEV); (5) Milho + mucuna cinza (*Stizolobium cinereum*)/soja (MUC); (6) Campo nativo (CNA); e (7) Milho/nabo forrageiro (*Raphanus sativus L. var. oleiferus Metzg.*)/soja/nabo forrageiro (NFO). Foram avaliadas a densidade e porosidade (micro, macro e total) do solo, nas camadas de 0 – 0,05; 0,05 – 0,10; 0,10 – 0,15 e 0,15 – 0,20 m, a resistência mecânica do solo ao penetrômetro até a profundidade de 0,30 m, e a taxa de infiltração de água. Os resultados demonstraram que a manutenção da superfície do solo permanentemente descoberta e desprotegida promoveu degradação dos atributos físicos avaliados, com formação de selamento superficial e redução da infiltração de água. A porosidade total e a macroporosidade do solo, até 0,10 m de profundidade, apresentaram estreita relação entre si. A resistência do solo ao penetrômetro evidenciou uma camada de maior resistência na superfície (até 0,03 m de profundidade) do tratamento SDES, e o NFO apresentou os maiores valores nas profundidades de 0,16 e 0,18 m. Menores taxas de infiltração de água no solo foram verificadas, ao longo de todos os tempos avaliados (5, 10, 15, 20, 30, 60, 90, e 120 min), nos tratamentos SDES e CNA, enquanto os demais manteram-se

constantemente acima destes e semelhantes entre si. O sistema de plantio direto com uso de plantas de cobertura do solo, após 16 anos de utilização, mostrou-se eficiente em manter atributos físicos, como a densidade e porosidade do solo em condições favoráveis ao desenvolvimento vegetal, ao mesmo tempo em que melhorou outros atributos, como a taxa de infiltração de água, em comparação com a sua condição inicial de campo nativo.

1.2 INTRODUÇÃO

O preparo convencional, além de revolver excessivamente a camada superficial e, as vezes até camadas subsuperficiais do solo, deixa-o, por um determinado período de tempo, completamente descoberto e desprotegido frente aos agentes causadores da erosão, em especial o impacto das gotas de chuva, precursora da erosão hídrica (Wunsche & Denardin, 1980). Alterações em propriedades físicas do solo podem ser causadas pelo impacto das gotas de chuva, que exercem uma pressão sobre os agregados do solo, rompendo-os e desestruturando-os, de maneira a formar uma crosta superficial de baixa permeabilidade, dificultando a infiltração de água no solo (Edwards & Larson, 1969).

O resultado da menor taxa de infiltração de água no solo é a menor disponibilidade de água às plantas, e o maior escoamento superficial ou enxurrada (Debarba, 1993). A erosão mais acentuada ocorre em solos recém preparados e semeados, pois na camada superficial, os agregados maiores são quebrados e a rugosidade do solo é diminuída. Ao mesmo tempo, nessas condições resulta uma camada favorável à emergência e crescimento das plantas (Abu-Hamdeh et al., 2006).

A partir desse contexto, outros sistemas de manejo que promovem a conservação do solo e da água são preconizados, e a semeadura das culturas diretamente no solo, sem a realização do preparo mecânico, assume fundamental importância. A substituição do sistema de preparo convencional do solo pelo sistema de plantio direto (SPD), no RS e no Brasil, não ocorreu rapidamente, pelo contrário, foi lenta e gradual nos primeiros anos, a partir de meados da década de 70, e, apenas a partir do início da década de 90 houve uma expansão acelerada da sua adoção (EMATER-RS, 1998).

Propriedades físicas do solo, em manejos que envolvem revolvimento excessivo e deixam o solo temporariamente descoberto, acabam sofrendo alterações significativas, passando para uma melhor condição de porosidade (Bertol et al., 2000) e menor densidade na camada superficial, de 0 – 0,10 m (Bertol et al., 2004), o que propicia um melhor desenvolvimento das raízes das plantas (Braunack & Dexter, 1989), se comparadas ao seu estado original, como num campo nativo, por exemplo, ou com o sistema de plantio direto. Em contrapartida, o efeito do preparo reduz a estabilidade e o diâmetro médio ponderado dos agregados, diminui o teor de carbono orgânico da camada superficial (Bertol et al., 2004), e acelera a degradação da matéria orgânica (Carpenedo & Mielniczuk, 1990).

O sistema plantio direto também determina alterações nas propriedades físicas do solo, desde o início de sua implantação, até vários anos após a sua adoção. Com a ausência do revolvimento do solo, há uma tendência de “consolidação” da camada superficial, principalmente na camada de 0,0 – 0,10 m, devido fundamentalmente ao tráfego de máquinas agrícolas e, em alguns casos, ao efeito do pisoteio animal.

Com o aumento do número de anos de utilização, sistemas de rotação ou de sucessão de culturas em plantio direto podem promover mudanças nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, cujos efeitos se refletirão no aproveitamento de nutrientes pelas plantas e, a consequência é o aumento na produtividade de grãos e matéria seca das mesmas (Teixeira et al., 2000). A intensidade da alteração nos atributos físicos do solo provocada pela rotação de culturas depende do período de cultivo, do número de cultivos por ano e das espécies cultivadas (Stone & Guimarães, 2005).

O adensamento superficial do solo sob SPD é comum, porém, em profundidade no perfil, esse efeito não se verifica (Prado et al., 2002). Aumento na porosidade, taxa de infiltração de água e agregação do solo também são verificadas neste sistema (Alves & Cabeda, 1999; Cosentino et al., 1998). Porém, o grau com que este sistema altera essas propriedades é pouco conhecido e muito variável, principalmente devido à grande variação existente no próprio solo, nas condições ambientais, nos tipos e tamanhos de equipamentos e ferramentas utilizados nas avaliações, e também nos diferentes sistemas de culturas e tipos de plantas utilizadas (Reichert et al., 2003). Indiretamente, o SPD altera algumas propriedades físicas do solo pela interferência no conteúdo de matéria orgânica do mesmo, e,

esta, proporciona, maior porosidade, principalmente a macroporosidade, quanto maior sua quantidade no solo. Ainda, favorece a criação de poros biológicos, melhora a estrutura, diminui a densidade aparente e melhora a taxa de infiltração de água no solo (Karlen et. al., 1994; Stone & Guimarães, 2005).

Bayer & Mielniczuk (2008) citam que o principal efeito da matéria orgânica do solo em suas propriedades físicas é quanto a estrutura, a qual é tão mais favorecida quanto maior for o aporte de carbono e conseqüente incremento no conteúdo de matéria orgânica. Comentam ainda que a partir desse efeito na agregação, outras propriedades são afetadas indiretamente, e positivamente para a planta, como a densidade, porosidade, aeração, e capacidade de retenção e infiltração de água, sendo extremamente importantes para garantir o potencial produtivo do solo.

Sistemas de culturas que envolvam adubos verdes de verão e de inverno, em rotação com culturas produtoras de grãos, em especial soja e milho, proporcionam um aporte constante e diferenciado de resíduos vegetais ao solo, e, ao mesmo tempo, favorecem uma melhor condição física para desenvolvimento das plantas (Derpsch et al., 1985; Cintra & Meilniczuk, 1983). Em contrapartida, sistemas em que o pousio invernal é adotado, ou sistemas em que o solo permanece descoberto, determinam a degradação dessas propriedades e uma conseqüente queda de produtividade das culturas ali cultivadas (Gonçalves et al., 2000; Netto et al., 2007).

Em solo exposto ao impacto das gotas de chuva forma-se uma camada incrustada na sua superfície (Abu-Hamdeh et al., 2006; Levien et al., 2000), provocando diminuição significativa na taxa de infiltração de água, causando escoamento superficial e a conseqüente erosão hídrica. Provoca, também, um aumento na densidade, compactando-o, e uma diminuição também significativa da porosidade, em especial a macroporosidade, responsável pela aeração e por boa parte da infiltração de água.

Da mesma maneira, um sistema de plantio direto sem ou com pouca cobertura de resíduos vegetais, pode conduzir a uma condição de qualidade inferior de suas propriedades físicas e de sua produtividade do que um sistema de preparo em que se revolva o solo, devido à degradação principalmente de sua porosidade, incremento de densidade e encrostamento superficial (Bolliger et al., 2006).

Espécies de adubos verdes de verão, como o feijão de porco e a mucuna, e de inverno, como o nabo forrageiro, aveia preta, azevém e ervilhaca, contribuem com elevada produção de matéria seca e cobertura do solo, mantendo-o constantemente protegido, além de fixar biologicamente nitrogênio, no caso das leguminosas, elemento essencial a todas as culturas de interesse econômico na agricultura (Veiga & Wildner, 1995; Silva et al., 2007). Ainda, reduzem o efeito potencial da erosão hídrica e contribuem para a reciclagem de nutrientes no solo.

Silva & Rosolem (2001) e Rosolem et al. (2002) destacam o potencial de plantas de cobertura do solo em sistemas de rotação de culturas, com o objetivo de melhorar a qualidade física de solos compactados. Willians & Well (2004) verificaram que as raízes do nabo forrageiro, após a sua morte e decomposição, formam canais no solo, e que as raízes da soja cultivada em subsequência apresentam crescimento preferencial nestes canais, facilitando seu aprofundamento no perfil e exploração de um maior volume de solo.

Avaliando a eficiência da escarificação mecânica e biológica na redução da compactação de um Latossolo e no rendimento de grãos de soja, Nicoloso et al. (2008a) encontraram aumento na macroporosidade do solo, diminuição na resistência ao penetrômetro e incremento na infiltração de água quando da utilização das plantas nabo forrageiro e aveia preta. Obtiveram também os maiores rendimentos de grãos de soja após o cultivo dessas plantas de cobertura do solo, isoladamente ou associadas ao uso do escarificador.

Buscando estabelecer limites críticos de densidade do solo para o crescimento de raízes de plantas de cobertura, num Argissolo Vermelho semelhante ao do presente estudo, Reinert et al. (2008) concluíram que todas as espécies avaliadas (crotalária juncea, guandu-anão, feijão de porco e mucuna cinza) podem ser utilizadas em solos com alta compactação, contribuindo com a recuperação e melhoria da qualidade física do solo.

Foloni et al. (2006), avaliando o crescimento aéreo e radicular da soja e de plantas de cobertura em camadas de solo compactadas, concluiu que, dentre várias espécies de leguminosas de verão, a mucuna preta foi a mais tolerante ao efeito nocivo da compactação, enquanto a soja foi a mais sensível a esse efeito. Embora os benefícios da inserção dessas plantas em sistemas de rotação de culturas sejam conhecidos, a sua efetiva adoção por parte dos produtores rurais é ainda diminuta, principalmente as de ciclo de verão, pois também competem por área, como no caso

da soja e do milho (Foloni et al., 2006). Informações sobre os benefícios dessas plantas e dos sistemas de culturas que as envolvem, geradas a partir de experimentos de longa duração, são valiosas na consolidação do conhecimento das propriedades físicas do solo e seu efeito na erosão hídrica, principalmente.

O presente trabalho teve como objetivo verificar as alterações ocorridas nas propriedades físicas densidade do solo, microporosidade, macroporosidade e porosidade total do solo, taxa de infiltração de água e resistência mecânica ao penetrômetro, após 16 anos de manejo conservacionista com diferentes sistemas de culturas, a partir de um campo nativo.

1.3 MATERIAL E MÉTODOS

1.3.1 Densidade do solo

Após a colheita da cultura do milho, em maio de 2008, foram realizadas coletas de duas amostras indeformadas de solo por parcela, nas profundidades de 0,0 – 0,05; 0,05 – 0,10; 0,10 – 0,15 e 0,15 – 0,20 m, com o auxílio de anéis de aço com volume conhecido, totalizando quatro repetições por tratamento, em cada profundidade. A estratificação da camada 0,0 – 0,20 m em quatro camadas foi realizada com o objetivo de melhor identificar e localizar possível compactação do solo, e também de diferenciar possíveis efeitos das raízes das plantas nas propriedades físicas avaliadas. Após a coleta no campo, as amostras foram encaminhadas ao laboratório de Manejo e Conservação do Solo e da Água da UFSM, onde foram determinadas a densidade do solo (D_s), pelo método do anel volumétrico, a porosidade total (P_t), pela percentagem de saturação de água do solo, e a microporosidade (M_i) e macroporosidade do solo (M_a), determinadas pela metodologia da 'mesa de tensão' (Embrapa, 1997).

1.3.2 Resistência do solo ao penetrômetro

Em outubro de 2007, após o cultivo das plantas de cobertura de inverno, foi realizada a avaliação da resistência mecânica do solo ao penetrômetro (RP), em intervalos de 0,01 m até a profundidade de 0,30 m, num total de 20 repetições por tratamento. O equipamento utilizado para esta avaliação foi um penetrômetro digital, marca DLG, com ponta cônica de 30°. Cada repetição equivaleu a introdução manual da haste do equipamento, em velocidade constante, até a profundidade desejada. O registro dos dados foi feito automaticamente pelo equipamento, e posteriormente, em um microcomputador, os mesmos foram processados e tabulados. Concomitantemente a avaliação de RP, também foi determinada a umidade gravimétrica do solo, nas mesmas profundidades da RP, em quatro repetições para cada tratamento.

1.3.3 Taxa de infiltração de água no solo

Na mesma época em que foram realizadas as avaliações de RP recém descritas, também foi determinada a taxa de infiltração de água no solo, pela metodologia do infiltrômetro de duplos anéis concêntricos, de carga hidráulica constante (0,05 m de lamina de água), descrito em Embrapa (1997). Para medir o volume de água infiltrado em cada intervalo de tempo no anel interno, utilizou-se um aparelho medidor confeccionado em um cano de PVC de 0,15 m de diâmetro e 1 m de comprimento, dotado de um piezômetro fixado sobre uma régua graduada em mililitros, semelhante ao descrito por Siqueira & Denardin (1985). O equipamento foi denominado “Infiltrômetro Jarí Grande” e está detalhadamente descrito em LanzaNova (2005) e Amado et al. (2005). O ajuste dos dados de infiltração de água no solo foi realizado segundo a equação de Kostiakov ($TI = kt^{-a}$), onde: TI representa a taxa de infiltração de água no solo, em função do tempo t ; e os parâmetros de ajuste “ k ” e “ a ”, são empíricos e não têm interpretação física (Clemmens, 1983). Foram realizadas 10 repetições por tratamento, com duração de duas horas cada. A umidade gravimétrica do solo em cada parcela experimental, no momento da

avaliação da infiltração, na camada de 0 – 0,10 m, foi de 0,154; 0,136; 0,138; 0,159; 0,156; 0,204 e 0,153 m³ m⁻³, para os tratamentos MFP, SDES, POU, AZEV, MUC, CNA, NFO, respectivamente.

Os resultados obtidos foram avaliados por meio de análise da variância e aplicação do teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade, para comparação de médias dos tratamentos; para a taxa de infiltração de água no solo foi realizada análise de regressão, com o auxílio do pacote estatístico SAS (Statistic Analise Systems, 1991).

1.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

1.4.1 Densidade do solo

Na Tabela 2 são apresentados os resultados obtidos das avaliações de densidade do solo, porosidade total, macro e microporosidade em 1992, um ano após a instalação do experimento (Debarba, 1993). Os resultados das mesmas avaliações, no ano de 2008, ou seja, 16 anos após o início do experimento, são apresentados na Tabela 3. Em 1991 os resultados das avaliações não diferiram significativamente entre os tratamentos (Tabela 2), com exceção da parcela com o campo nativo (CNA), pois nos demais tratamentos o solo da área experimental foi padronizado antes da implantação das culturas, com uma aração e duas gradagens.

Observa-se elevado valor de Ds no campo nativo na camada 0,0 – 0,08 m, um no após a instalação do experimento, em relação aos demais tratamentos. Isso é atribuído ao fato de que a área onde se encontra a parcela com este tratamento era anteriormente utilizada como área de manobra de maquinário agrícola, e sofreu, portanto pressão de compactação excedente.

Na avaliação de 2008 (Tabela 3), a densidade do solo apresentou alterações significativas até a profundidade de 0,10 m, com o tratamento solo descoberto apresentando valor maior que os demais na camada 0 – 0,05 m, e também na camada 0,05 – 0,10 m, porém, nesta, não diferindo dos tratamentos

pousio invernal, azevém + ervilhaca, milho + mucuna e nabo forrageiro. Nesta camada, os valores mais baixos de Ds foram encontrados no campo nativo (CNA) e onde se cultivou feijão de porco (MFP), e foram semelhantes onde se cultivaram a mucuna (MUC), azevém e ervilhaca (AZEV), nabo forrageiro (NFO) e onde se fez pousio no inverno (POU).

Tabela 2. Densidade do solo (Ds), porosidade total (Pt), macroporosidade (Ma) e microporosidade do solo (Mi), nas profundidades de 0,00 – 0,08 m e 0,08 – 0,16 m, nos sistemas de culturas avaliados em 1992, no primeiro ano da instalação do experimento. Adaptado de Debarba, (1993)

Tratamento	Ds	Pt	Ma	Mi
	Mg m ⁻³	----- dm ³ dm ⁻³ -----		
Profundidade 0,0 – 0,08 m				
MFP	1,40 b	49,2 ^{ns}	20,4 ^{ns}	28,4 ^{ns}
SDES	1,44 b	47,4	19,3	28,1
POU	1,46 b	47,0	17,2	29,8
AZEV	1,40 b	48,0	18,8	30,2
MUC	1,40 b	49,2	20,3	28,9
CNA	1,61a	41,6	12,3	29,3
NFO	1,45 b	47,4	21,7	26,4
Profundidade 0,08 – 0,16 m				
MFP	1,48 ^{ns}	46,3 ^{ns}	18,2 ^{ns}	28,1 ^{ns}
SDES	1,58	42,5	13,0	29,5
POU	1,52	44,8	15,1	29,7
AZEV	1,52	44,8	15,3	28,5
MUC	1,48	44,2	15,1	29,1
CNA	1,51	45,0	13,9	31,1
NFO	1,51	44,6	17,9	26,7

MFP: Milho + feijão de porco/soja; SDES: Solo descoberto; POU: Milho/pousio/soja/pousio; AZEV: Milho/azevém + ervilhaca/soja/azevém + ervilhaca; MUC: Milho + mucuna/soja; CNA: Campo nativo; NFO: Milho/nabo forrageiro/soja/nabo forrageiro. Médias seguidas por mesma letra, na mesma coluna e profundidade não diferem entre si pelo teste de Tukey (P<0,05). ^{ns} Diferenças estatisticamente não significativas.

A comparação dos resultados dos tratamentos, em cada camada de solo, deve ser cuidadosamente avaliada, uma vez que nos tratamentos em que se manteve o solo permanentemente descoberto (SDES), uma camada de solo de aproximadamente 0,15 m foi removida da superfície, pela erosão, sendo que a espessura desta camada removida variou dentro de cada parcela com o referido tratamento.

Nos demais tratamentos também foram verificadas perdas de solo, porém em valores equivalentes a 0,5% do ocorrido no tratamento SDES. Dessa maneira, poder-se-ia inferir que a camada de solo de 0,0 – 0,05 m no SDES corresponderia à camada de aproximadamente 0,15 – 0,20 m nos demais tratamentos; porém, os resultados da Tabela 2 mostram que, a partir de 0,10 m de profundidade, não ocorreu diferença de valores de densidade e porosidade do solo entre os tratamentos, sugerindo que outro fator atuou na superfície do solo e promoveu as alterações apresentadas na Tabela 3. O efeito do impacto das gotas de chuva, que provoca o selamento superficial dos poros do solo, pode ter proporcionado tais alterações na densidade e porosidade do solo. O selamento superficial do solo é um fenômeno que ocorre em uma camada muito delgada, de poucos milímetros, porém, com efeitos significativos nessas propriedades (Silva & Kato, 1997; McIntyre, 1958; Brandão et al., 2003). A formação da crosta superficial ocorre logo após o início da chuva, e persiste até que a crosta seja revolvida, o que acontece nas operações de preparo do solo ou nas capinas manuais para controle de ervas invasoras, utilizando enxadas. Nos demais tratamentos, com cobertura do solo por plantas e resíduos vegetais durante praticamente todo o ano, o processo de selamento superficial não ocorre e o sistema radicular das plantas atua no sentido de promover um incremento na formação de poros biológicos, com reflexo positivo na porosidade e densidade do solo.

Frye et. al. (1982), avaliando o efeito da erosão hídrica em algumas propriedades físicas de dois solos americanos, também encontraram maiores valores de densidade do solo onde houve erosão, em comparação com o mesmo solo, porém não erodido. O resultado foi atribuído ao efeito do impacto direto das gotas de chuva no solo e ao escoamento superficial da água. Solo descoberto e preparado convencionalmente no sentido da declividade é considerada a pior situação a que um solo pode ser submetido, com a inevitável e freqüente ocorrência de erosão hídrica e a conseqüente degradação de suas propriedades.

Tabela 3. Densidade do solo (Ds), porosidade total (Pt), macroporosidade (Ma) e microporosidade (Mi) de um Argissolo Vermelho submetido a diferentes sistemas de culturas em plantio direto, após 16 anos da implantação do experimento

Tratamento	Ds Mg m ⁻³	Pt ----- m ³ m ⁻³ -----	Ma ----- m ³ m ⁻³ -----	Mi
Profundidade 0,0 – 0,05 m				
MFP	1,17 b	0,53a	0,26 a	0,26ab
SDES	1,55 a	0,36 b	0,12 b	0,24 b
POU	1,23 b	0,51a	0,25 a	0,25 b
AZEV	1,16 b	0,50a	0,26 a	0,24 b
MUC	1,27 b	0,47a	0,22 a	0,25 b
CNA	1,26 b	0,48a	0,18 ab	0,30a
NFO	1,12 b	0,51a	0,26 a	0,24 b
CV (%)	9,49	13,84	28,03	8,05
Profundidade 0,05 – 0,10 m				
MFP	1,45 b	0,42a	0,19a	0,23 b
SDES	1,61a	0,37 b	0,12 b	0,27ab
POU	1,47ab	0,39ab	0,17ab	0,22 b
AZEV	1,50ab	0,37 b	0,14ab	0,23 b
MUC	1,48ab	0,41ab	0,17ab	0,23 b
CNA	1,44 b	0,40ab	0,13 b	0,28a
NFO	1,52ab	0,38ab	0,15ab	0,23. b
CV (%)	4,66	7,31	23,31	5,05
Profundidade 0,10 – 0,15 m				
MFP	1,49 ^{ns}	0,39 ^{ns}	0,16 ^{ns}	0,24 ab
SDES	1,56	0,38	0,14	0,24 ab
POU	1,50	0,38	0,15	0,23 b
AZEV	1,55	0,37	0,14	0,24 ab
MUC	1,48	0,38	0,15	0,23 b
CNA	1,56	0,37	0,11	0,26 a
NFO	1,53	0,38	0,16	0,22 b
CV (%)	3,37	8,30	22,60	5,63
Profundidade 0,15 – 0,20 m				
MFP	1,53 ^{ns}	0,38 ^{ns}	0,15 ^{ns}	0,23 ^{ns}
SDES	1,49	0,38	0,14	0,23
POU	1,48	0,37	0,13	0,24
AZEV	1,50	0,39	0,16	0,24
MUC	1,57	0,37	0,14	0,24
CNA	1,50	0,38	0,13	0,24
NFO	1,50	0,39	0,16	0,23
CV (%)	4,14	6,98	21,02	5,37

MFP: Milho + feijão de porco/soja; SDES: Solo descoberto; POU: Milho/pousio/soja/pousio; AZEV: Milho/azevém + ervilhaca/soja/azevém + ervilhaca; MUC: Milho + mucuna/soja; CNA: Campo nativo; NFO: Milho/nabo forrageiro/soja/nabo forrageiro. Médias seguidas por mesma letra, na mesma coluna e profundidade não diferem entre si pelo teste de Tukey (P<0,05). ^{ns} Diferenças estatisticamente não significativas.

Avaliando propriedades físicas em um Argissolo Vermelho submetido ao preparo convencional e plantio direto, comparadas ao campo nativo, Cruz et al., (2003) encontraram maiores alterações na porosidade do solo do que na densidade. Os autores citam que três anos de adoção do sistema plantio direto não foi suficiente para determinar maiores alterações na densidade do solo, e que um tempo maior de utilização do sistema é necessário para que essas alterações se manifestem.

A influência de diferentes sistemas de culturas nas propriedades físicas densidade, porosidade e agregação do solo, com utilização de plantas de cobertura do solo no inverno, sob plantio direto em um Argissolo Amarelo, foi estudada por Teixeira et al., (2000), e os resultados não apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos, na camada de 0,0 – 0,10 m de profundidade, após três anos de condução do experimento.

Bertol et al. (2004) avaliaram sucessões e rotações de culturas em diferentes sistemas de preparo do solo num Cambissolo Húmico catarinense, e encontraram maiores efeitos nas propriedades físicas do solo em função do tipo de preparo do que pelos sistemas de culturas. Os autores sugerem que o efeito desses sistemas de culturas, que envolvem pousio e adubos verdes no inverno, devem se manifestar depois de transcorridos vários anos de sua adoção.

Os valores de densidade do solo apresentados na Tabela 3 foram variáveis em cada tratamento e profundidade, podendo, no caso do SDES, ser considerados críticos. Lima et al. (2007) buscaram estabelecer a densidade crítica restritiva ao crescimento radicular para o mesmo tipo de solo do presente experimento, levando em consideração a resistência ao penetrômetro e a umidade gravimétrica do solo. O valor de densidade médio encontrado pelos autores foi de $1,58 \text{ Mg m}^{-3}$, valor este encontrado apenas no tratamento SDES, na profundidade de 0,05 – 0,10 m, no presente estudo. É importante ressaltar que no presente estudo, como as parcelas eram delimitadas por chapas de aço inseridas no solo, todas as práticas de manejo do solo foram efetuadas manualmente, e não foi exercida nenhum tipo de pressão de compactação no solo que não fosse o próprio pisoteio das pessoas envolvidas no trabalho, quando da execução de operações de tratamentos culturais, plantio e colheita, e das avaliações efetuadas no solo.

O uso e o tráfego intensivo de máquinas agrícolas e o pisoteio bovino sobre o solo têm sido apontados como as principais causas da compactação do solo (Foloni et al., 2006; Lazzarini, 2005; Lazzarini et al., 2007), devido a elevada carga exercida sobre uma pequena área de solo, em comparação com a pequena pressão de compactação exercida por uma pessoa adulta, com diminuto efeito nocivo ao solo.

Dessa maneira, verifica-se que após vários anos de adoção do sistema plantio direto houve adensamento da camada superficial do solo, em comparação com o solo original que era mantido sob campo nativo e foi submetido ao preparo convencional. No campo nativo, observa-se forte redução da densidade do solo na camada superficial, após 16 anos sem interferência humana no solo (comparando o valor obtido em 1992 e em 2008), a qual foi reduzida de 1,61 para 1,26 Mg m⁻³. Tal resultado é atribuído ao fato de, até o momento da instalação do experimento, essa área ser utilizada como pátio de manobra de maquinário agrícola, sendo que, a partir de então, a mesma foi isolada e mantida livre de tráfego, o que favoreceu a atuação do sistema radicular das espécies vegetais ali presentes, principalmente as gramíneas perenes de ciclo estival.

1.4.2 Porosidade do solo

A porosidade do solo também não foi alterada pelos sistemas de culturas estudados, nas duas profundidades avaliadas, devido à padronização da área, em 1991 (Tabela 2). Na avaliação de 2008, alterações significativas foram encontradas até a profundidade de 0,10 – 0,15 m, na microporosidade do solo, sendo encontrados nesta camada os menores valores nos tratamentos NFO e POU, diferindo apenas do CNA (Tabela 3). De 0,15 – 0,20 m de profundidade, nenhum sistema de culturas determinou diferenças significativas. Nas camadas 0,0 – 0,05 e 0,05 – 0,10 m foram encontradas significativas alterações na porosidade total do solo. Na camada superficial, o solo descoberto (SDES) apresentou o menor valor de P_t , assim como na camada subsequente, porém, nesta, diferindo-se apenas do tratamento que incluiu feijão de porco (MFP).

A macroporosidade da camada superficial do solo também foi inferior no solo descoberto (SDES), sendo semelhante ao solo sob campo nativo (CNA), que não diferiu dos demais tratamentos. Na camada seguinte evidenciou-se o mesmo comportamento, porém, os valores encontrados, embora numericamente inferiores aos demais tratamentos, diferiram apenas e novamente do tratamento MFP. Mesmo na situação em que o solo permaneceu exposto ao impacto das gotas de chuva, os valores encontrados situaram-se acima do limite crítico de macroporosidade, onde o valor de $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ seria o divisor onde começa a haver problemas de aeração para as raízes das plantas, reduzindo a continuidade de poros e a permeabilidade do solo (Letey, 1985; Silva et al., 1994). Na Tabela 3 demonstra-se o efeito nocivo da exposição da superfície do solo à ação da chuva, e o processo de selamento superficial do solo é evidenciado pelos menores valores de porosidade total e macroporosidade do solo. A microporosidade mostrou-se uma propriedade pouco afetada por este processo, nesta camada superficial, pois, com exceção do campo nativo (CNA), os demais tratamentos foram semelhantes.

Efeito positivo na macroporosidade e porosidade total do solo foi encontrado com a utilização dos adubos verdes de verão, em especial o sistema de culturas que incluiu feijão de porco (MFP). Esta cultura, implantada nas entrelinhas da cultura do milho, continuou seu desenvolvimento após a colheita de grãos de milho, protegendo o solo e, ao mesmo tempo, explorou um volume de solo que, através de seu sistema radicular, após o término de seu ciclo e decomposição das raízes, favoreceu a atividade biológica, agregação, infiltração e aeração do solo até que a cultura seguinte fosse implantada. Os valores de densidade aqui encontrados, bem como os de porosidade (macro, micro e total), concordam com os que Cruz et al., (2003) encontraram ao compararem as alterações nesses mesmos atributos, em um Argissolo Vermelho submetido aos sistemas de preparo convencional do solo e ao sistema de plantio direto, em relação a um campo nativo.

Nascimento et al. (2005) avaliaram o efeito de diferentes espécies leguminosas, dentre elas o feijão de porco e a mucuna cinza, sobre a densidade e porosidade do solo, em comparação com uma testemunha que foi mantida em pousio permanente, e não encontraram alterações significativas após três anos de condução do experimento, em um Luvisolo Crômico. Os autores atribuíram a ausência de diferenciação entre os tratamentos ao baixo aporte de carbono orgânico

e ao elevado teor de areia do solo, o que também ocorreu no presente estudo (660 g kg⁻¹ de areia total).

A compactação do solo, caracterizada por um aumento de sua densidade, determina também a diminuição do espaço poroso, como apresentado na Figura 2. A relação inversamente proporcional entre densidade e porosidade total é relatada também por Thimóteo et al. (2001), que sugeriram o efeito à ausência de preparo do solo no sistema de plantio direto, além da textura arenosa, chuvas torrenciais e baixo conteúdo de matéria orgânica do solo.

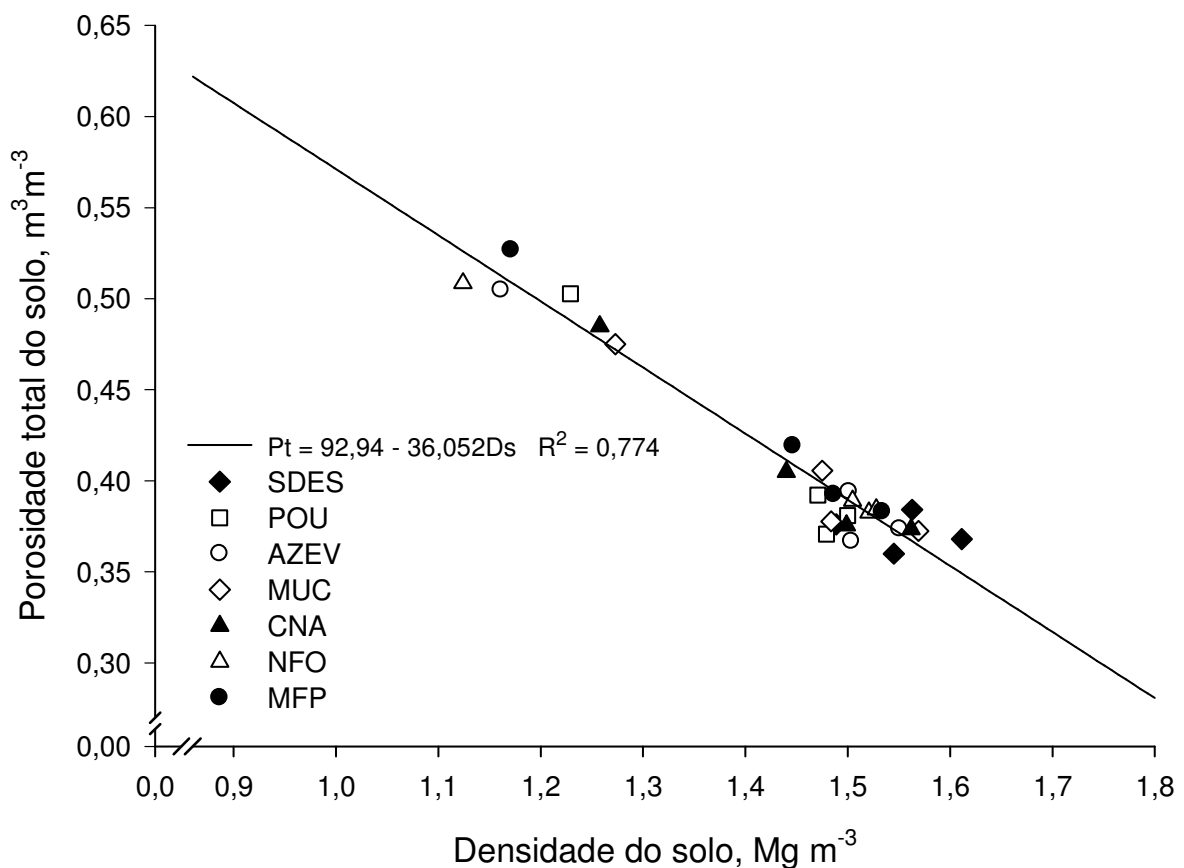


Figura 2. Relação entre porosidade total (Pt) e densidade do solo (Ds) na camada 0,0 - 0,20 m em um Argissolo Vermelho submetido a diferentes sistemas de culturas em plantio direto, após 16 anos de manejo. (MFP: Milho + feijão de porco/soja; SDES: Solo Descoberto; POU: Milho/pousio/soja/pousio; AZEV: Milho/azevém + ervilhaca/soja/azevém + ervilhaca; MUC: Milho + mucuna/soja; CNA: Campo nativo; NFO: Milho/nabo forrageiro/soja/nabo forrageiro).

Tormena et al. (2002) encontraram aumento de densidade e redução da porosidade total de um Latossolo, sob plantio direto, sendo atribuído o efeito ao fato de haver, neste sistema de manejo, um adensamento da camada superficial e ausência de operações como aração e escarificação. Segundo Kiehl (1979), o valor de 50 μm divide os macroporos, que são os poros maiores que este diâmetro, dos microporos, que são relacionados com a retenção e armazenamento de água no solo, enquanto a macroporosidade tem sido apontada como a principal responsável pela infiltração, percolação de água e oxigenação do solo.

A Figura 3 apresenta a relação observada entre a macroporosidade e a densidade do solo, na camada 0,0 – 0,20 m, nos sistemas de culturas avaliados.

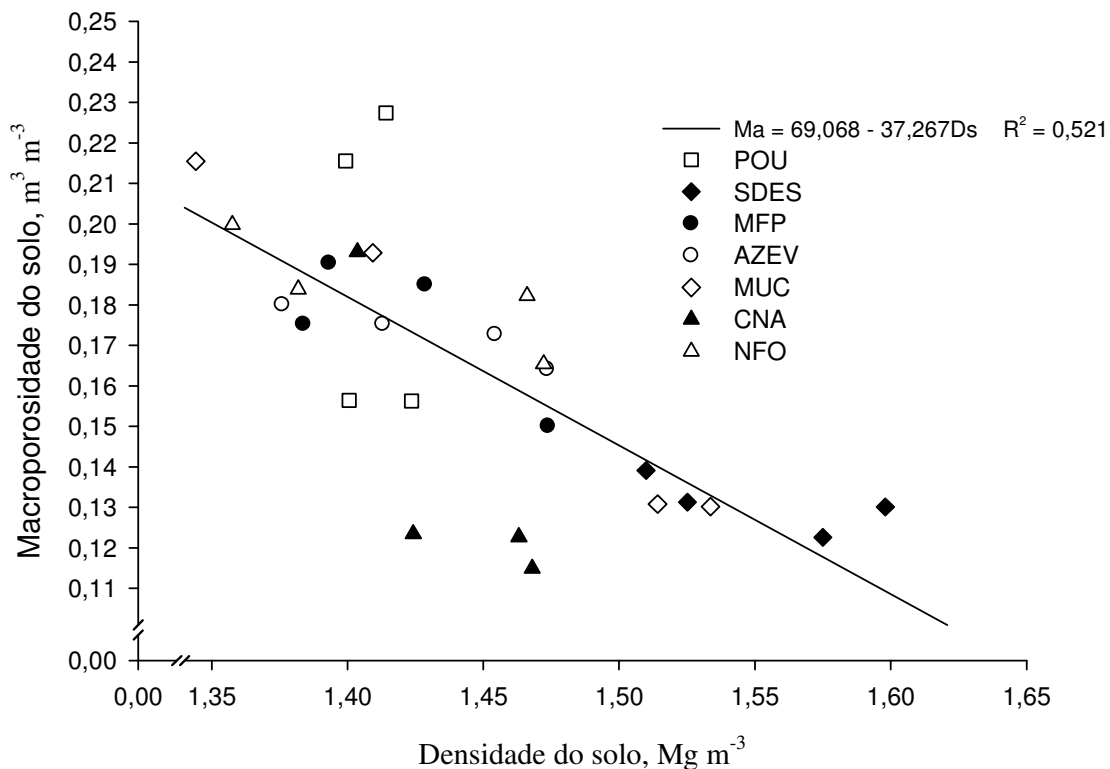


Figura 3. Relação entre macroporosidade (Ma) e densidade do solo (Ds) na camada 0-0,20 m em um Argissolo Vermelho submetido a diferentes sistemas de culturas em plantio direto, após 16 anos de manejo. (MFP: Milho + feijão de porco/soja; SDES: Solo Descoberto; POU: Milho/pousio/soja/pousio; AZEV: Milho/azevém + ervilhaca/soja/azevém + ervilhaca; MUC: Milho + mucuna/soja; CNA: Campo nativo; NFO: Milho/nabo forrageiro/soja/nabo forrageiro).

Observa-se que em nenhum momento o valor crítico ao desenvolvimento radicular proposto, de $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ (Letey, 1985; Silva et al., 1994), foi alcançado, e, pela equação gerada, este valor somente seria atingido quando a densidade do solo atingisse valores superiores aqueles sugeridos como críticos para o presente solo, de $1,58 \text{ Mg m}^{-3}$ (Lima et al., 2007).

1.4.3 Resistência do solo ao penetrômetro

A avaliação da resistência mecânica do solo ao penetrômetro (RP) demonstrou diferenças significativas entre os tratamentos, como pode ser observado na Figura 4. Da mesma maneira, a umidade gravimétrica do solo (Ug) diferiu significativamente (Figura 5). O solo descoberto (SDES) apresentou uma camada superficial caracterizada por selamento dos poros, e a obstrução dos poros com partículas de solo rearranjadas provocou um incremento na sua densidade, como pode ser observado na Tabela 3.

A RP avaliada em leituras a cada 0,01 m, consegue identificar com maior precisão camadas compactadas no solo, e isto ficou evidenciado nos três primeiros centímetros do tratamento SDES, diferindo significativamente dos demais tratamentos. Este processo ocorreu devido ao impacto direto das gotas de chuva sobre os agregados do solo, dispersando-os, e no momento em que ocorreu o rearranjo das partículas, estas formaram o referido selamento, como argumentado por Derpsch et al., (1991). Na camada compreendida entre 0,05 m até 0,25 m, o tratamento NFO apresentou valores mais elevados de RP, porém não diferindo estatisticamente dos demais tratamentos, com exceção do MFP, que apresentou os menores valores até 0,16 m, e POU e MUC nas profundidades 0,16, 0,17 e 0,18 m, respectivamente. Ao contrário do encontrado aqui, Prado et al. (2002) concluíram que a utilização de pousio por cinco anos comprometeu a qualidade do solo avaliada pela resistência ao penetrômetro, em comparação com o solo sob cultivo intensivo, não importando o sistema de preparo utilizado.

De 0,20 até 0,28 m, todos os tratamentos foram equivalentes e, a partir dessa profundidade, o mesmo comportamento da camada 0,05 a 0,25 foi constatado.

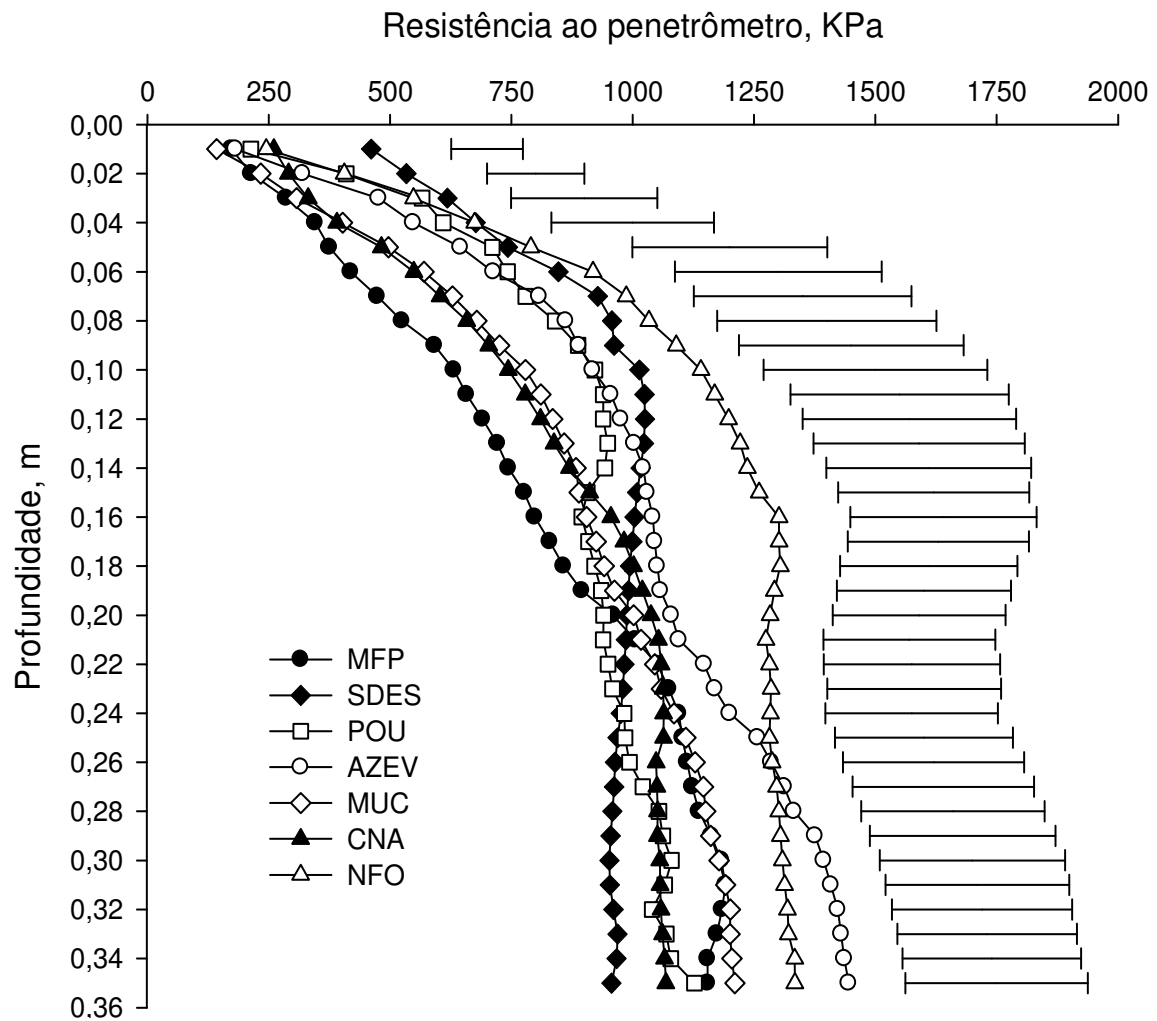


Figura 4. Resistência do solo ao penetrômetro, avaliada por um penetrômetro digital, em um Argissolo Vermelho após 16 anos de utilização de diferentes sistemas de culturas, em plantio direto. (MFP: Milho + feijão de porco/soja; SDES: Solo Descoberto; POU: Milho/pousio/soja/pousio; AZEV: Milho/azevém + ervilhaca/soja/azevém + ervilhaca; MUC: Milho + mucuna/soja; CNA: Campo nativo; NFO: Milho/nabo forrageiro/soja/nabo forrageiro). As barras verticais correspondem à diferença mínima significativa pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

Genro Junior (2002) estudou os efeitos da rotação de culturas, com inclusão de plantas de cobertura de inverno e verão, em plantio direto, em alguns atributos físicos de um Latossolo no planalto do RS, e encontrou tendência de redução da resistência do solo ao penetrômetro e aumento da condutividade hidráulica do solo após a inclusão do guandu nos esquemas de rotação de culturas que envolveram soja, milho e trigo. O resultado foi atribuído ao sistema radicular do guandu, que é agressivo, denso, extenso e capaz de crescer em solo com estado de

compactação avançado, restritivo às demais culturas produtoras de grãos. Nicoloso et al. (2008a) encontraram redução da RP de um Latossolo Vermelho quando utilizado o consórcio de aveia preta e nabo forrageiro, em comparação com o uso isolado de aveia preta, em plantio direto, sendo que o resultado foi atribuído à quantidade de fitomassa aportada ao solo pelo sistema, e ao maior conteúdo de água no solo neste consórcio.

De maneira geral, os valores encontrados para resistência ao penetrômetro não são comprometedores ao desenvolvimento radicular das plantas, segundo Taylor et al. (1966), que sugere o valor de 2 MPa como limite crítico dessa variável. Segundo Lipiec & Hatano (2003), sendo que a partir desse valor pode começar a ocorrer redução do sistema radicular das plantas.

No momento da avaliação da RP, o solo mantido em pousio (POU) apresentou o menor conteúdo de água na camada de 0,0 – 0,10 m, isoladamente, e na camada de 0,10 – 0,20 m assemelhou-se ao tratamento NFO, diferindo dos demais. Nas maiores profundidades, todos os tratamentos apresentavam a mesma umidade gravimétrica (Figura 5). O maior conteúdo de água foi encontrado no campo nativo (CNA), o que pode ser atribuído ao efeito de uma massiva quantidade de raízes das espécies gramíneas que compõe essa vegetação, causando uma espécie de obstáculo ao processo evaporativo da água do solo em períodos de elevada demanda evaporativa da atmosfera.

A importância de se conhecer a umidade gravimétrica no momento da avaliação de RP é devido ao fato de existir uma estreita relação entre as duas variáveis, já demonstrada anteriormente no mesmo solo por Riquelme (2004). O teor de água do solo controla o fornecimento de ar às raízes das plantas, bem como a temperatura e a impedância mecânica, que é afetada pela densidade do solo e distribuição do tamanho de poros. O aumento no teor de água reduz a aeração e a resistência do solo ao penetrômetro (Reichert et al., 2003).

Conclusão semelhante pode ser atribuída ao valor encontrado para a umidade gravimétrica do solo descoberto (SDES), que não foi estatisticamente diferente dos valores encontrados em MFP, AZEV, MUC e NFO. Da mesma maneira que o selamento encontrado na superfície desse tratamento dificultou a infiltração de água no solo (Figura 6), pode ter dificultado também o processo contrário, ou seja, de evaporação de água do solo para a atmosfera.

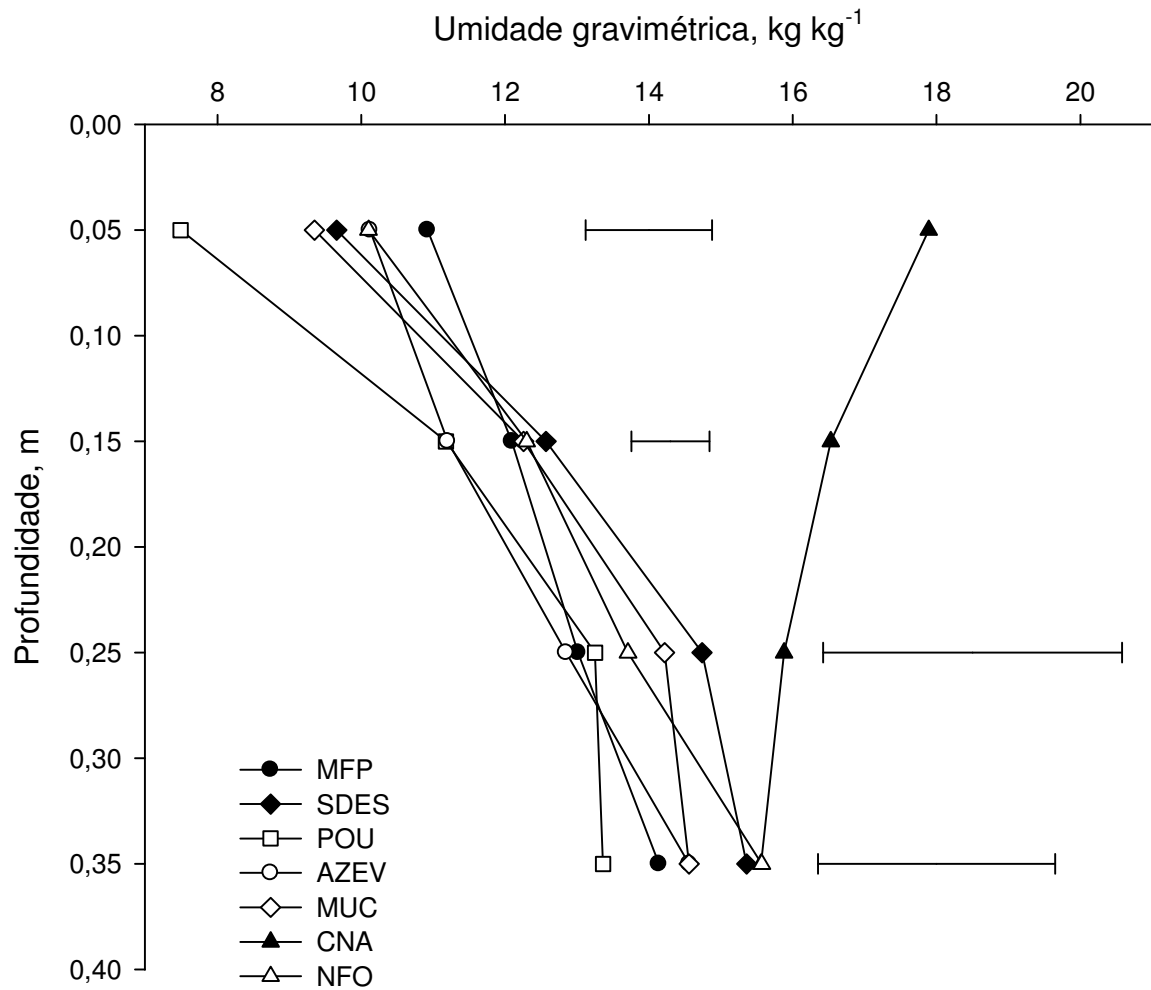


Figura 5. Umidade gravimétrica de um Argissolo Vermelho submetido a 16 anos de utilização de diferentes sistemas de culturas, plantio direto. (MFP: Milho + feijão de porco/soja; SDES: Solo Descoberto; POU: Milho/pousio/soja/pousio; AZEV: Milho/azevém + ervilhaca/soja/azevém + ervilhaca; MUC: Milho + mucuna/soja; CNA: Campo nativo; NFO: Milho/nabo forrageiro/soja/nabo forrageiro). As barras verticais correspondem à diferença mínima significativa pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

1.4.4 Taxa de infiltração de água no solo

A taxa de infiltração de água no solo é uma avaliação que pode melhor distinguir os tratamentos avaliados (Figura 6) e é freqüentemente utilizada como parâmetro de qualidade do solo.

Os valores do Coeficiente de Variação encontrados, de 65, 75, 64, 60, 60, 43, 37 e 44%, para os tempos 5, 10, 15, 20, 30, 60, 90 e 120 minutos, respectivamente, embora altos, são considerados normais para este tipo de determinação (Warrick & Nielsen, 1980).

Em estudo realizado por Cruz et al. (2003), os valores de infiltração de água no sistema plantio direto e no campo nativo não apresentaram diferenças significativas, diferente do que foi encontrado no presente estudo (Figura 6). Aqueles autores concluíram que, como o solo encontrava-se no terceiro ano de condução do sistema plantio direto, poderia ainda não ter apresentado a consolidação natural que ocorre normalmente quando o solo é mantido por maior tempo de cultivo sem o revolvimento.

Os dados aqui encontrados, pela metodologia de duplos anéis concêntricos, devem ser cuidadosamente analisados, uma vez que, segundo Brito et al. (1996), esse método superestima em no mínimo 2,5 vezes a taxa de infiltração determinada por métodos com infiltrômetros de aspersão. Apesar disso, após 16 anos de continuidade do manejo do solo em plantio direto, os dados encontrados demonstram consistência e reforçam que o referido manejo de solo e culturas proporciona melhoria e/ou manutenção da qualidade dos atributos físicos aqui estudados (Tabela 3; Figuras 4 e 6), em relação a sua condição original, ou seja, o solo sob campo nativo.

Os menores valores de infiltração de água no solo foram encontrados nos tratamentos SDES e CNA, desde o tempo inicial até o tempo final da avaliação, sendo que estes não diferiram significativamente entre si em nenhum dos tempos avaliados, e foram semelhantes ao tratamento POU nos tempos 5, 10 e 20 minutos. Baixas taxas de infiltração de água em campo nativo podem ocorrer devido aos elevados valores de densidade do solo encontrados nessas áreas, principalmente na camada de 0,0-0,05 m de profundidade, como observado na Tabela 2.

Aumento significativo na densidade da camada superficial do solo sob campo nativo normalmente é atribuído ao pisoteio de animais que o pastejam. Pode também ser atribuído ao tráfego de máquinas agrícolas, como ocorreu no presente estudo. Porém, a tabela 3 reforça a capacidade que o campo nativo apresenta em melhorar a qualidade física do solo avaliada pela sua densidade e porosidade, pois, de 1991 a 2008, houve um aumento de 32% na sua macroporosidade e uma redução de 22% no valor de sua densidade.

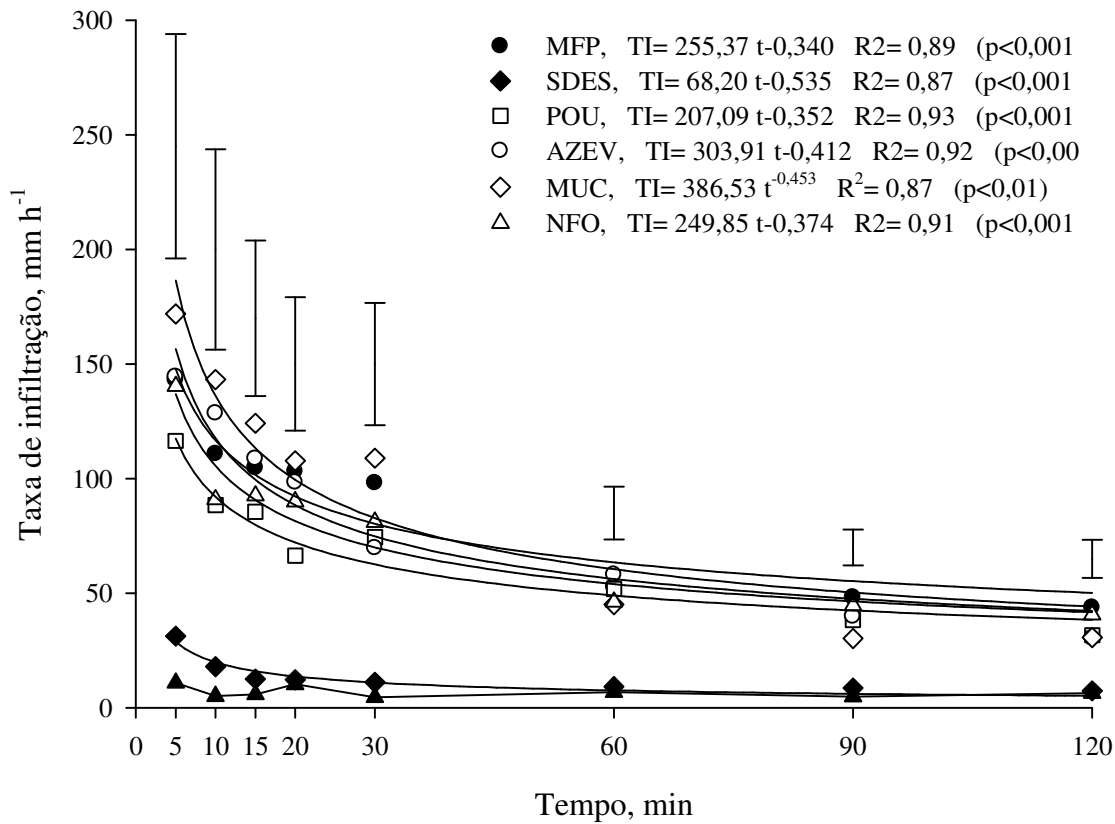


Figura 6. Taxa de infiltração de água em um Argissolo Vermelho submetido a diferentes sistemas de culturas em plantio direto, após 16 anos de utilização. (MFP: Milho + feijão de porco/soja; SDES: Solo Descoberto; POU: Milho/pousio/soja/pousio; AZEV: Milho/azevém + ervilhaca/soja/azevém + ervilhaca; MUC: Milho + mucuna/soja; CNA: Campo nativo; NFO: Milho/nabo forrageiro/soja/nabo forrageiro). As barras verticais correspondem à diferença mínima significativa pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

Destaca-se, porém, que a melhoria observada na densidade e porosidade do campo nativo não se refletiu igualmente na taxa de infiltração de água, inferindo-se daí haver outros mecanismos envolvidos na dinâmica deste atributo.

Também, na camada superficial, houve uma redução da macroporosidade do solo no tratamento em que o mesmo foi mantido descoberto (SDES) e no campo nativo (CNA), e como este é um caminho preferencial para a infiltração da água no solo (Bertol et. al., 2000; Bertol et. al., 2001), os valores ficaram abaixo dos demais sistemas de culturas. Importante salientar que quanto menor o valor da taxa inicial de infiltração de água no solo, menor o tempo provável para começar a enxurrada

na superfície do solo, considerando neste caso que o conteúdo inicial de umidade gravimétrica do solo é maior no momento de ocorrência da precipitação.

Baixas taxas de infiltração de água nos tratamentos SDES e CNA do presente solo foram obtidas também por Amado et al. (2007), que atribuíram os valores ao selamento superficial do solo descoberto, e a elevada quantidade de raízes do campo nativo que ocupam boa parte do espaço poroso do solo, em especial a macroporosidade.

O solo mantido sem proteção ao impacto das gotas de chuva também sofre prejuízos quanto a sua taxa de infiltração de água e seu conseqüente armazenamento, como verificado pela menor umidade gravimétrica do solo (Figura 5). O processo de selamento superficial dos poros do solo faz com que a água infiltre com dificuldade (Alves & Cabeda, 1999), e a conseqüência é, além de menor retenção e armazenamento, a predisposição à erosão hídrica, pois, haverá maior escoamento superficial (Debarba, 1993).

O comportamento dos tratamentos SDES e CNA foram muito semelhantes, o que poderia levar a inferir erroneamente que não há necessidade de cobertura permanente no solo para a manutenção de suas propriedades físicas em níveis adequados, uma vez que a taxa de infiltração de água é utilizada como parâmetro de qualidade do solo (Alves e Cabeda, 1999) e o campo nativo é uma referência positiva em termos de cobertura do solo e estado de agregação (Debarba, 1993). Porém, ao avaliar-se o tratamento POU, onde foram realizados cultivos apenas no ciclo de verão, observa-se que o mesmo está situado intermediariamente aos tratamentos que utilizam adubos verdes tanto de verão quanto de inverno, não diferindo estatisticamente dos demais tratamentos.

Assim como observado com a avaliação da densidade e porosidade do solo (Tabela 3), os sistemas de culturas que incluíram adubos verdes de verão feijão de porco (MFP) e mucuna (MUC) em consórcio com o milho, apresentaram os valores mais elevados para a taxa inicial de infiltração de água, até os 30 minutos de avaliação, em comparação com os demais sistemas de culturas (Figura 6). Nos tempos finais de avaliação, 90 e 120 minutos, aproximando-se da taxa básica de infiltração de água no solo e da condutividade hidráulica do solo saturado, os sistemas de culturas MFP e NFO tenderam a apresentar os maiores valores, em relação aos demais tratamentos.

A Figura 7 apresenta a relação entre a infiltração de água acumulada e a macroporosidade do solo na média da camada de 0,0 – 0,20 m, para os tratamentos avaliados. Como pode ser observada, a infiltração de água no solo foi significativamente influenciada pelos valores da macroporosidade do solo, ou seja, aqueles poros maiores que 50 μm , como já foram citados por diversos autores (Wu et al., 1992; Dunn & Phillips, 1991; Lanzasova et al., 2007; Nicoloso et al., 2008a).

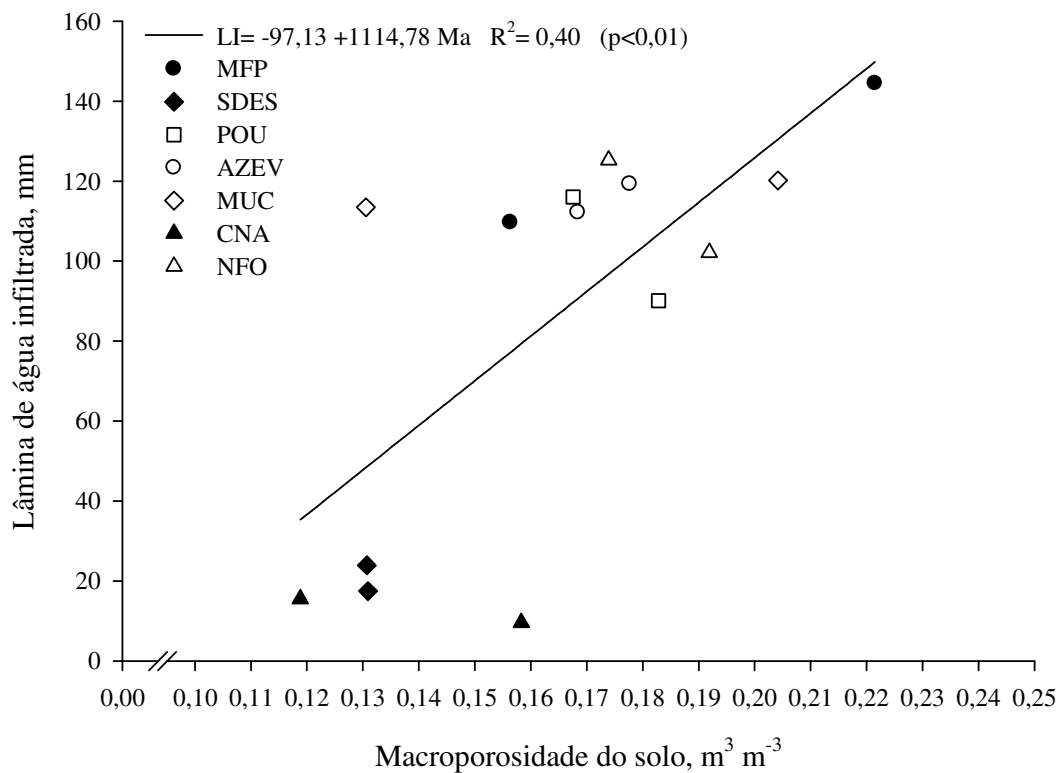


Figura 7. Relação entre macroporosidade da camada 0-0,20 m e lâmina de água infiltrada em um Argissolo Vermelho submetido a diferentes sistemas de culturas em plantio direto, após longo período de utilização. (MFP: Milho + feijão de porco/soja; SDES: Solo Descoberto; POU: Milho/pousio/soja/pousio; AZEV: Milho/azevém + ervilhaca/soja/azevém + ervilhaca; MUC: Milho + mucuna/soja; CNA: Campo nativo; NFO: Milho/nabo forrageiro/soja/nabo forrageiro).

Poros ou canais deixados no solo após a morte e decomposição das raízes das plantas de cobertura favorecem o incremento da macroporosidade do solo, caminho preferencial para a infiltração de água, destacando-se espécies como

o nabo forrageiro (Sasal & Andriulo, 2005) que possuem raízes vigorosas e agressivas, rompendo inclusive camadas compactadas que outras espécies de plantas não conseguiriam (Reinert et al., 2008).

A relação encontrada ($R^2=0,40$, $P<0,01$) entre a macroporosidade e a infiltração de água acumulada, no presente estudo, embora não tão elevada, concorda com os dados de Nicoloso et al. (2008b), em um Latossolo muito argiloso ($R^2=0,82$, $P<0,01$), e os de Sasal & Andriulo (2005) ($R^2=0,70$, $P<0,01$), em um Argissolo do Pampa argentino, reforçando a importância de uma elevada quantidade e continuidade de macroporos no solo para a manutenção de elevadas taxas de infiltração de água e diminuição de riscos potenciais de enxurrada na superfície do solo.

1.4.5 Evolução temporal dos atributos físicos avaliados

Na Figura 8 é apresentada a evolução dos valores obtidos de densidade do solo desde a implantação do experimento, em 1991, e em 2008, para fins de avaliação temporal dessa propriedade. Para melhor comparação, considerou-se a camada de 0,0 – 0,08 m, avaliada em 1991, como equivalente a camada de 0,0 – 0,10 m avaliada em 2008. Da mesma forma, a camada seguinte, de 0,08 – 0,16 m avaliada em 1991 foi equiparada à camada de 0,10 – 0,20 m avaliada em 2008. Na camada mais superficial avaliada, de 0,0 – 0,10 m, observa-se que, com exceção do tratamento SDES, todos os demais tratamentos apresentaram maior valor de densidade do solo no ano de 1991, no início do experimento, em comparação com os valores encontrados em 2008. O incremento na densidade do solo descoberto é atribuído diretamente ao efeito do impacto das gotas de chuva, que provocou a destruição dos agregados, diminuição da porosidade e formação de selamento superficial. Nos demais tratamentos, a diminuição da densidade nessa camada superficial deve ser relacionada com os sistemas radiculares das plantas que foram cultivadas em 16 anos de agricultura, que proporcionaram adição de carbono e nitrogênio, além de favorecerem a atividade biológica.

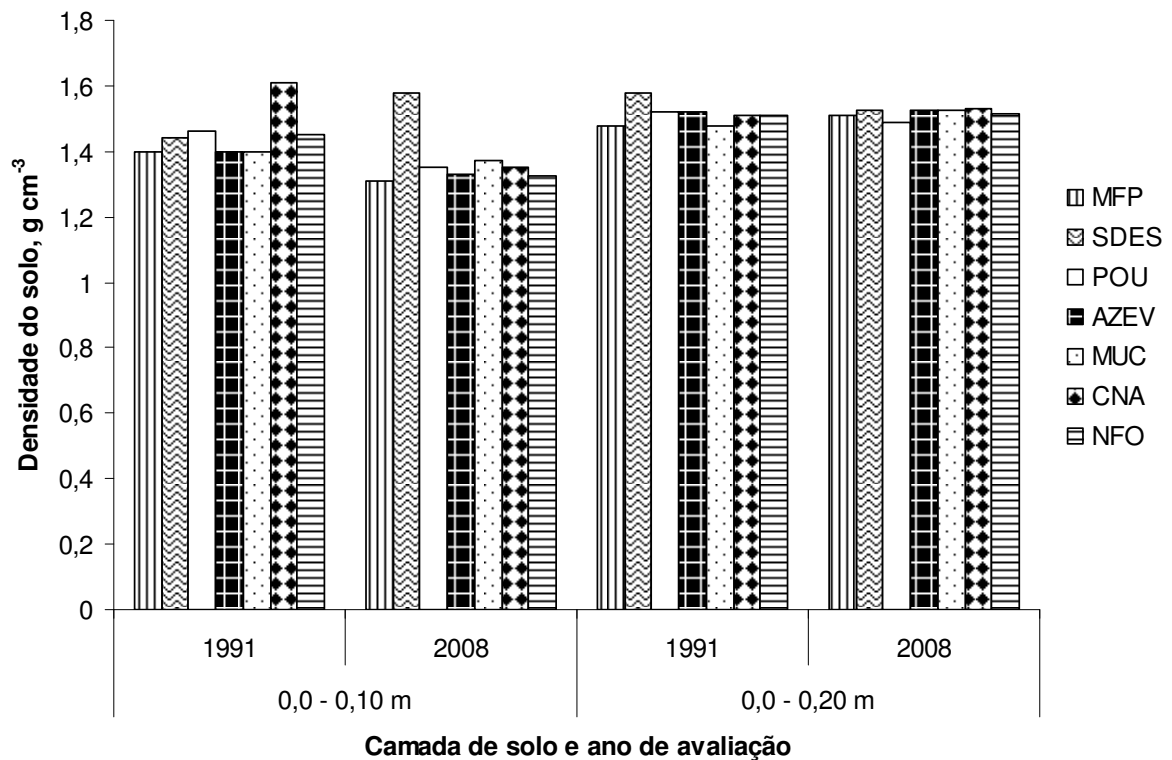


Figura 8. Evolução temporal da densidade de um Argissolo Vermelho submetido a diferentes sistemas de culturas, em duas camadas de profundidade no perfil. (MFP: Milho + feijão de porco/soja; SDES: Solo Descoberto; POU: Milho/pousio/soja/pousio; AZEV: Milho/azevém + ervilhaca/soja/azevém + ervilhaca; MUC: Milho + mucuna/soja; CNA: Campo nativo; NFO: Milho/nabo forrageiro/soja/nabo forrageiro).

Ressalta-se que todas as atividades de manejo foram realizadas manualmente, não havendo, dessa maneira, tráfego de máquinas ou outra pressão de compactação no solo.

Na camada seguinte, de 0,10 – 0,20 m, pequenas modificações foram encontradas, sendo mais evidente a diminuição da densidade no solo descoberto, passando de 1,58 para 1,53 g cm⁻³. Estas pequenas diferenças podem ser relacionadas à variabilidade espacial existente no solo, bem como as diferenças na metodologia e equipamentos utilizados na coleta e processamento das amostras.

Pela Figura 9 se pode fazer a mesma comparação temporal, porém com a macroporosidade do solo nas duas profundidades anos de avaliação.

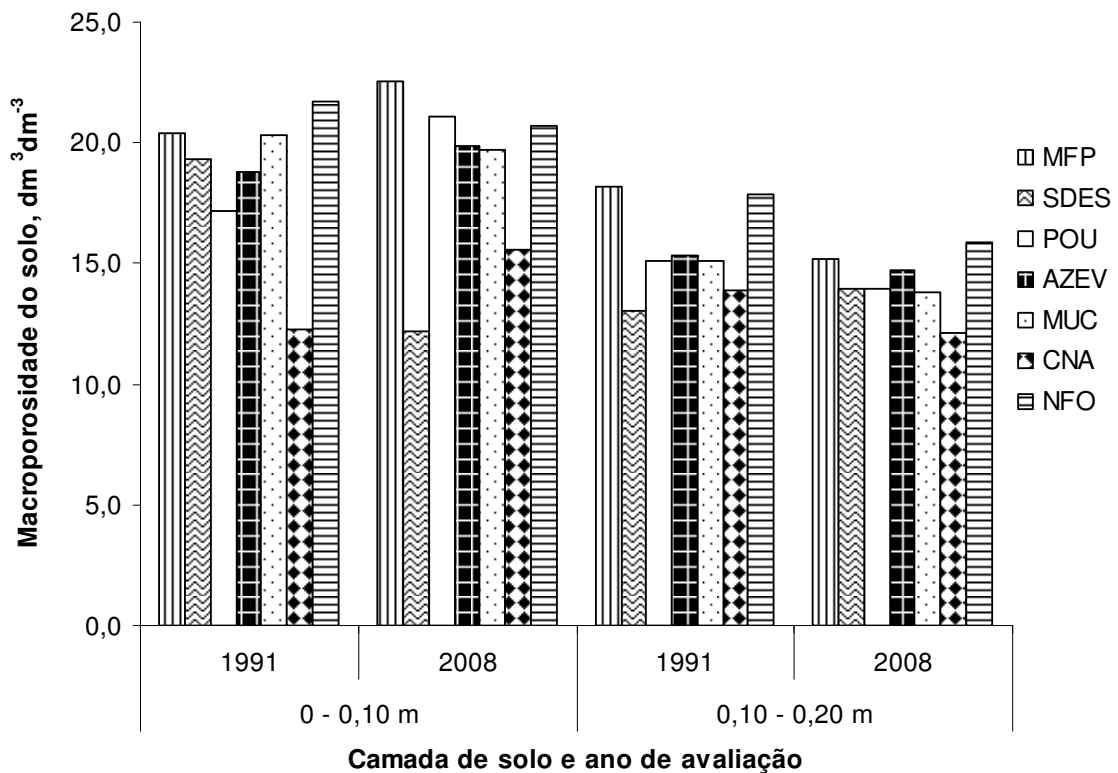


Figura 9. Evolução temporal da macroporosidade de um Argissolo Vermelho submetido a diferentes sistemas de culturas, em duas camadas de profundidade no perfil. (MFP: Milho + feijão de porco/soja; SDES: Solo Descoberto; POU: Milho/pousio/soja/pousio; AZEV: Milho/azevém + ervilhaca/soja/azevém + ervilhaca; MUC: Milho + mucuna/soja; CNA: Campo nativo; NFO: Milho/nabo forrageiro/soja/nabo forrageiro).

Constata-se que esta propriedade apresentou maior variação entre os tratamentos e anos do que a densidade do solo, constituindo-se assim numa avaliação mais sensível aos sistemas de culturas estudados. Diminuição significativa da macroporosidade na camada superficial foi encontrada no tratamento em que se manteve o solo permanentemente descoberto, sendo relacionado ao processo de adensamento superficial do solo provocado pelo impacto das gotas de chuva, assim como apresentado na Figura 8.

Além do tratamento SDES, o sistema de culturas com nabo forrageiro no inverno também proporcionou diminuição da macroporosidade nesta camada de solo. Isto pode ser atribuído ao efeito sucessivo de cultivos dessa espécie que possui um sistema radicular, composto por bulbos, agressivo e espesso, capaz de

provocar aumento de densidade do solo e, em virtude disso, diminuição da macroporosidade e porosidade total, conforme o crescimento e pressão lateral que os bulbos proporcionam (Kubota et al., 2005). O tratamento com mucuna intercalar ao milho (MUC) permaneceu praticamente no mesmo patamar de macroporosidade, enquanto os demais tratamentos apresentaram incrementos em relação aos valores iniciais. Destaca-se, entre estes, o solo sob campo nativo (CNA) que apresentou elevada capacidade de recuperar a macroporosidade do solo ao longo do tempo, unicamente devido à ausência de pressão e à ação de seu sistema radicular e atividade biológica.

Na camada de 0,10 – 0,20 m, as variações entre as duas épocas de avaliações foram menores, sendo constatada tendência de estabilização dos valores, reforçando a hipótese de que os sistemas de culturas atuam mais pronunciadamente na camada superficial, até 0,10 m de profundidade.

1.5 CONCLUSÕES

1. O solo mantido permanentemente descoberto apresentou degradação física, expressa pelo aumento da densidade do solo e resistência mecânica ao penetrômetro, redução da macroporosidade e da taxa de infiltração de água no solo.

2. O uso de culturas de cobertura, com destaque para as leguminosas tropicais como a mucuna e feijão de porco, foi eficiente em manter as condições físicas do solo favoráveis ao desenvolvimento vegetal. O efeito das culturas de cobertura foi, porém, restrito à camada de 0,0 – 0,10 m.

3. O sistema plantio direto, na ausência de tráfego animal e operações com máquinas agrícolas, e na presença de culturas de cobertura de inverno e verão, foi eficiente em manter a qualidade física do solo.

4. A taxa de infiltração de água no solo, avaliada por infiltrômetro de duplos anéis concêntricos, apresentou uma relação positiva linear com a porcentagem de macroporos do solo.

1.6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABU-HAMDEH, N.H.; ABO-QUDAIS, S.A. & OTHMAN, A.M. Effect of soil aggregate size on infiltration and erosion characteristics. *European J. Soil Sci.*,57:609-616. 2006.

ALVES, M.C. & CABEDA, M.S.V. Infiltração de água em um Podzólico Vermelho-escuro sob dois métodos de preparo, usando chuva simulada com duas intensidades. *R. Bras. Ci. Solo*, 23:753-761, 1999.

AMADO, T.J.C., NICOLOSO, R.S., LANZANOVA, M.E., SANTI, A.L. & LOVATO, T. A compactação pode comprometer os rendimentos de áreas sob plantio direto. *Revista Plantio Direto*, edição 89, Setembro/Outubro de 2005. Aldeia Norte, Passo Fundo – RS.

AMADO, T.J.C.; CONCEIÇÃO, P.C.; BAYER, C. & ELTZ, F.L.F. Qualidade do solo avaliada pelo “Soil Quality Kit Test” em dois experimentos de longa duração no Rio Grande do Sul. *R. Bras. Ci. Solo*. 31:109-121, 2007.

BAYER, C. & MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: *Fundamentos da Matéria Orgânica do Solo: ecossistemas tropicais e subtropicais*. Gabriel de Araújo Santos (Ed.) et al...2ª ed. rev. e atual. – Porto Alegre: Metrópole, 2008.

BERTOL, I.; BEUTLER, J.F.; LEITE, D. & BATISTELA, O. Propriedades físicas de um Cambissolo Húmico afetadas pelo tipo de manejo do solo. *Sci. Agric. Vol. 58*, n.3. Piracicaba Jul/Set.,2001.

BERTOL, I.; GUADAGNIN, J.C.; CASSOL, P.C; AMARAL, J.A. & BARBOSA, F.T. Perdas de fósforo e potássio por erosão hídrica em um Inceptisol sob chuva natural. *R. Bras. Ci. Solo*, 28:485-494, 2004.

BERTOL, I.; SCHICK, J.; MASSARIOL, J.M.; REIS, E.F. & DILLY, L. Propriedades físicas de um Cambissolo Húmico álico afetadas pelo manejo do solo. *Ci. Rural*, 30:91-95, 2000.

BOLLIGER, A. et al. Taking stock of Brazilian "Zero-Till Revolution": A Review of Landmark Research and Farmer's Practice. *Advances in Agronomy*, 91:47-110, 2006.

BRANDÃO, V.S.; PRUSKI, F.F. & SILVA, D.D. Infiltração da água no solo. Viçosa, MG. [s.n.], 2003. 98 p.

BRAUNACK, M.V. & DEXTER, A.R. Soil aggregation in the seedbed: a review. I – Properties of aggregates and beds of aggregates. *Soil & Till. Res.*, 14:259-279, 1989.

BRITO, L.T.L.; LOUREIRO, B.T. ; DENICULI, W.; RAMOS, M.M. & SOARES, J.M. Influência do método na determinação da velocidade de infiltração. *R. Bras. Ci. Solo*, 20:503-507, 1996.

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.

CINTRA, F. & MIELNICZUK, J. Potencial de algumas espécies vegetais para a recuperação de solos com propriedades físicas degradadas. *R. Bras. de Ci. Solo*, 7:197-201, 1983.

CLEMMENS, A.J. Infiltration equation for border irrigation models. In: NATIONAL CONFERENCE ON ADVANCES IN INFILTRATION, 1983, Chicago. Proceedings. St. Joseph, American Society of Agricultural Engineers, 1983. p.266-274. (ASAE Publication, 11-83. Advances in infiltration).

COSENTINO, D. et al. Relationships between organic carbon fraction and physical properties of an argentine soil under three tillage systems. *Pesq. Agropec. Bras.*,33:981-986, 1998.

CRUZ, A.C.R.; PAULETTO, E.A.; FLORES, C.A. & SILVA, J.B. Atributos físicos e carbono orgânico de um Argissolo Vermelho sob sistemas de manejo. *R. Bras. Ci. Solo*, 27:1105-1112, 2003.

DEBARBA, L. Sistemas de produção de milho adaptados à conservação do solo. Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, 1993. 150 p. (Dissertação de Mestrado).

DERPSCH, R. et al. Manejo do solo com coberturas verdes de inverno. *Pesq. Agropec. Bras.*, 20:761-773. 1985.

DERPSCH, R.; ROTH, C. H.; SIDIRAS, N. & KÖPKE, C. V. Controle da erosão no Paraná, Brasil: Sistemas de cobertura do solo, plantio direto e preparo conservacionista do solo. Londrina, GTZIAPAR, 1991. 272 p.

DUNN, G.H. & PHILLIPS, R.E. Macroporosity of a well-drained soil under no-till and conventional tillage. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 55:817-823, 1991.

EDWARDS, W.M. & LARSON, W.E. Infiltration of water into soil as influenced by surface seal development. *Trans. Amer. Soc. Agr. Eng.*, 12:463-465, 1969.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de Métodos de Análise de Solos. 2. ed. Rio de Janeiro, 1997. 212p.

EMATER-RS. Expansão do plantio direto no Rio Grande do Sul. Informativo da EMATER-RS, v.14, n.2, julho 1998. EMATER-RS, Porto Alegre, RS, Brasil. 4p.

FOLONI, J.S.S.; LIMA, S.L. & BULL, L.T. Crescimento aéreo e radicular da soja e de plantas de cobertura em camadas compactadas de solo. *R. Bras. Ci. Solo*, 30:49-57, 2006.

FRYE, W.W.; EBELHAR, S.A.; MURDOCK, L.W. & BEVINS, R.L. Soil erosion effects on properties and productivity of two Kentucky soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 46:1051-1055, 1982.

GENRO JÚNIOR, S.A. Alteração da compactação do solo com uso da rotação de culturas no sistema plantio direto. Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, 2002. 90p. (Dissertação de Mestrado).

KARLEN, D.L.; VARVEL, G.E.; BULLOCK, D.G. & CRUSE, R.M. Crop rotations for the 21st century. *Advances in Agronomy*. 53:1-45, 1994.

KIEHL, E.J. Manual de Edafologia. São Paulo: Agronômica Ceres, 1979. 262 p.

KUBOTA, A.; HOSHIBA, K. & BORDON, J. Green-manure turnip of soybean based no-tillage farming systems in eastern Paraguay. *Sci. Agric.*, 62:150-158, 2005.

GONÇALVES, C.N.; CERETTA, C.A. & BASSO, C.J. Sucessões de culturas com plantas de cobertura e milho em plantio direto e sua influência sobre o nitrogênio do solo. *R. Bras. Ci. Solo*, 24:153-159, 2000.

LANZANOVA, M.E. Atributos físicos do solo em sistemas de culturas sob plantio direto na integração lavoura-pecuária. Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, 2005. 132p. (Dissertação de Mestrado).

LANZANOVA, M.E.; NICOLOSO, R.S.; LOVATO, T.; ELTZ, F.L.F; AMADO, T.J.C. & REINERT, D.J. Atributos físicos do solo em sistemas de integração lavoura-pecuária sob plantio direto. *R. Bras. Ci. Solo*, 31:1131-1140, 2007.

LETEY, J. Relationship between soil physical properties and crop production. *Advances in Soil Science*, 1:277-294, 1985.

LEVIEN, R.; DE JONG VAN LIER, Q.; & ALVES, A.G.C. Influence of surface crust on water infiltration rates measured by a rotating-boom rainfall simulator and a double-cylinder device. *R. Bras. Ci. Solo*, 24:479-486, 2000.

LIMA, C.L.R.; REICHERT, J.M.; REINERT, D.J.; SUZUKI, L.E.A.S. & DALBIANCO, L. Densidade crítica ao crescimento de plantas considerando água disponível e resistência à penetração de um Argissolo Vermelho distrófico arênico. *Ci. Rural*, v.37, n.4, jul-ago, 2007.

LIPIEC, J. & HATANO, R. Quantification of compaction effects on soil physical properties and crop growth. *Geoderma*, 116:107-136, 2003.

McINTYRE, D.S. Permeability measurements of soil crusts formed by raindrop impact. *Soil Science*, 85:185-9, 1958.

NASCIMENTO, J.T.; SILVA, I.F.; SANTIAGO, R.D. & SILVA NETO, L.F. Efeito de leguminosas nos atributos físicos e carbono orgânico de um Luvisolo. *R. Bras. Ci. Solo*, 29: 825-831, 2005.

NETTO, A.A.; FERNANDES, E.J. & CENTURION, J.F. Propriedades físicas e indicador de qualidade de um Latossolo Vermelho submetido a diferentes sistemas de uso e manejo. *Irriga*, 12:27-37, 2007.

NICOLOSO, R.S; AMADO, T.J.C.; LOVATO, T.; SCHNEIDER, S.; LANZANOVA, M. E.; ROSSATO, R. R.; BRAGAGNOLO, J.; GIRARDELLO, V.; GIRARDELLO, R. Nabo forrageiro: alternativa de ciclagem de nutrientes e escarificação biológica do solo. *Revista Plantio Direto*, v. 104, p. 28-38, 2008.(a).

NICOLOSO, R. S.; AMADO, T.J.C.; SCHNEIDER, S.; LANZANOVA, M.E.; GIRARDELLO, V. & BRAGAGNOLO, J. Eficiência da escarificação mecânica e biológica na melhoria dos atributos físicos de um Latossolo muito argiloso e no incremento do rendimento da soja. *R. Bras. Ci. Solo*. 32:1723-1734, 2008.(b).

PRADO, R.M.; ROQUE, C.G. & SOUZA, Z.M. Sistemas de preparo e resistência à penetração e densidade de um Latossolo Vermelho eutrófico em cultivo intensivo e pousio. *Pesq. Agropec. Bras.*, 37:1795-1801, 2002.

REICHERT, J.M., REINERT, D.J. & BRAIDA, J.A. Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. *Ciência e Ambiente*, 27: 2003.p.29-48.

REINERT, D.J.; ALBUQUERQUE, J.A.; REICHERT, J.M.; AITA, C. & ANDRADA, M.M.C. Limites críticos de densidade do solo para o crescimento de raízes de plantas de cobertura em Argissolo Vermelho. *R. Bras. Ci. Solo*, 32:1805-1816, 2008.

RIQUELME, U.R.B. Propriedades físicas e hídricas do solo em sistemas de manejo do feijoeiro. Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, 2004. 78p. (Dissertação de Mestrado).

ROSOLEM, C.A.; FOLONI, J.S.S. & TIRITAN, C.S. Root growth and nutrient accumulation in cover crops as affected by soil compaction. *Soil Till. Res.*, 65:109-115, 2002.

SASAL, M.C. & ANDRIULO, A.E. Câmbios en la porosidad edáfica bajo siembra directa por la introducción de *Raphanus sativus* L. (nabo forrageiro). *R. Invest. Agropec.*, 34:131-150, 2005.

SAS INSTITUTE. Statistical Analysis System Institute – SAS/STAT Procedure guide for personal computers. Version 5, SAS Inst. Cary, NC. 1991.

SILVA, C.L. & KATO, E. Efeito do selamento superficial na condutividade hidráulica saturada da superfície de um solo sob cerrado. *Pesq. Agropec. Bras.*, 2:213-220, 1997.

SILVA, A.A.; SILVA, P.R.F.; SUHRE, E.; ARGENTA, G.; STRIEDER, M.L. & RAMBO, L. Sistemas de coberturas de solo no inverno e seus efeitos sobre o rendimento de grãos de milho em sucessão. *Ci. Rural*, 37:928-935, 2007.

SILVA, R.H. & ROSOLEM, C.A. Influência da cultura anterior e da compactação do solo na absorção de macronutrientes em soja. *Pesq. Agropec. Bras.* 6:1269-1275, 2001.

SILVA, A.P.; KAY, B.D. & PERFECT, E. Characterization of the least limiting water range. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 58: 1775-1781, 1994.

SIQUEIRA, O.J.F. & DENARDIN, J.E. Equipamento para mediar a taxa de infiltração de água no solo utilizando anéis concêntricos em um sistema com nível de água constante. *R. Bras. Ci. Solo*, 9:73-75, 1985.

STONE, L.F. & GUIMARÃES, C.M. Influência de sistemas de rotação de culturas nos atributos físicos do solo. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2005. 15 p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento / Embrapa Arroz e Feijão, 16).

TAYLOR, H.M.; ROBERTSON, G.M. & PARKER, J.J. Soil strength root penetration relations for medium to coarse textured soil materials. *Soil Science*, 102:18-22, 1966.

TEIXEIRA, C.F.A.; PAULETTO, E.A.; SILVA, J.B. & PALMEIRA, P.R.T. Atributos físicos da camada superficial de um Argissolo Amarelo distrófico típico afetados por sistemas de culturas em plantio direto. *Rev. Bras. Agrocência*, 6:176-180, 2000.

THIMOTEO, C.M.S.; BENINNI, B.R.S.; MURATA, I.M. & TAVARES FILHO, J. Alterações da porosidade e da densidade de um Latossolo Vermelho distrófico em dois sistemas de manejo do solo. *Acta Scientiarum*, 23:1299-1303, 2001.

TORMENA, C.A.; BARBOSA, M.C.; COSTA, A.C.S. & GONÇALVES, A.C.A. Densidade, porosidade e resistência à penetração em Latossolo cultivado sob diferentes sistemas de preparo. *Scientia Agrícola*, 59:795-801, 2002

VEIGA, M. & WILDENER, L.P. Manejo conservacionista em solos de encostas no Sul do Brasil. In.: REUNION BIENAL DE LA RED LATINOAMERICANA DE LABRANZA CONSERVACIONISTA, III, 1995. San José, Costa Rica, Anais.1995.

WARRICK A.W. & NIELSEN, D.R. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: HILLEL, D. (Ed.). Application of soil physics. New York: Academic Press, 1980.

WILLIAMS, S.M.; WEIL, R.R. Crop cover root channels may alleviate soil compaction effects on soybean crop. Soil Sci. Soc. Am. J., 68:1403-1409, 2004.

WU, L.; SWAN, J.B.; PAULSON, W.H. & RANDALL, G.W. Tillage effects on measured soil hydraulic properties. Soil Till. Res., 25: 17-33. 1992.

WÜNSCHE, A., DENARDIN, J.E. Conservação e manejo dos solos. In: Planalto Riograndense, considerações gerais. 1 . Passo Fundo, EMBRAPA. CNPT, 1980. 17 p. (EMBRAPA, CNPT, Circular técnica, 2).

2 CAPÍTULO II

ATRIBUTOS QUÍMICOS DE UM ARGISSOLO VERMELHO SUBMETIDO A SISTEMAS DE CULTURAS SOB PLANTIO DIRETO POR LONGO PERÍODO

2.1 RESUMO

Sistema plantio direto com uso de rotação de culturas e elevado aporte de resíduos vegetais na superfície do solo proporciona, após alguns anos de adoção da prática, incrementos significativos em alguns atributos químicos e de fertilidade do solo. Tais benefícios são mais pronunciados quanto mais variados e diversificados forem as famílias de plantas utilizadas nos planos de rotação de culturas. Dessa maneira, o presente estudo teve como objetivo avaliar o efeito de diferentes sistemas de culturas em plantio direto, utilizando plantas de cobertura de inverno e verão, em alguns atributos químicos de um Argissolo Vermelho (pH, P, K, matéria orgânica, Ca, Mg, Al, S, CTC), após 16 anos de adoção do sistema. O experimento teve início no ano de 1991, e utiliza desde 2001, como tratamentos, os seguintes sistemas de culturas: (1) Milho (*Zea mays L.*) + feijão de porco (*Canavalia ensiformis DC*)/soja (*Glycine max (L.) Merr.*) (MFP); (2) Solo permanentemente descoberto (SDES); (3) Milho/pousio/soja/pousio (POU); (4) Milho/azevém (*Lolium multiflorum Lam.*) + ervilhaca comum (*Vicia sativa*)/soja/azevém + ervilhaca comum (AZEV); (5) Milho + mucuna cinza (*Stizolobium cinereum*)/soja (MUC); (6) Campo nativo (CNA); e (7) Milho/nabo forrageiro (*Raphanus sativus L. var. oleiferus Metzg.*)/soja/nabo forrageiro (NFO). Os resultados obtidos demonstraram que o solo mantido descoberto permanentemente acarretou sérios prejuízos quanto aos atributos de fertilidade do solo avaliados, principalmente o conteúdo de matéria orgânica e potássio do solo. A análise apenas do pH do solo não foi suficiente para caracterizar o estado de acidez em que o solo se encontrava, sendo necessário conhecer a concentração de outros componentes, como o alumínio trocável e os teores de cálcio + magnésio. O efeito residual da aplicação de calcário, antes da implantação do sistema plantio direto, no valor do pH, teor de alumínio e fósforo trocável, ultrapassou 16 anos. Verificou-se uma relação direta entre o valor do pH do solo e o seu teor de matéria orgânica, e uma relação inversa entre o valor do pH e o teor de alumínio trocável, com o incremento na profundidade no solo, para todos os tratamentos.

2.2 INTRODUÇÃO

A manutenção dos resíduos vegetais na superfície do solo, após a colheita de grãos ou fim do ciclo das plantas, aliado à concentração de nutrientes oriundos da adubação mineral aplicada no momento do plantio das culturas, nos primeiros 0,10 m de profundidade, determina a concentração de nutrientes na camada superficial do solo. Desta maneira, o sistema de plantio direto (SPD) proporciona incrementos gradativos em algumas propriedades químicas do solo, principalmente na camada superficial (Muzilli, 1983; Eltz et al., 1989), sendo responsáveis, em parte, pela alta produtividade das culturas agrícolas. Este efeito positivo é verificado, porém, após alguns anos de adoção do SPD, e, ao mesmo tempo, necessita um aporte contínuo e diversificado de resíduos vegetais ao solo, caracterizando o chamado plano de rotação de culturas (Deprsch et al., 1985).

Neto et al. (2007) buscaram estabelecer um período de tempo necessário para haver a consolidação do SPD em um Latossolo Amarelo de textura argilosa. Observaram que após nove anos de adoção do sistema, a estrutura do solo assemelhou-se a de um solo mantido sob floresta, enquanto, abaixo de oito anos de utilização do sistema, essa estrutura assemelhou-se ao de um solo cultivado em sistema de preparo convencional (SPC).

Os principais fatores determinantes do incremento na melhoria da fertilidade e qualidade química do solo são a manutenção dos resíduos vegetais das culturas na superfície do solo, o aumento e a diversidade da fauna edáfica e da atividade microbiana, o não revolvimento e exposição do solo para fins de plantio, e a redução das perdas de solo e água por erosão hídrica (Chueiri & Vasconcellos, 2000).

Aproximadamente 58% da matéria orgânica do solo é constituída por carbono (Alexander, 1980) e por isso a maneira mais fácil, rápida, econômica e eficaz de aumentar o percentual de matéria orgânica de um solo é pela adição de resíduos vegetais produzidos por espécies cultivadas; além disso, esta adição deve ser maior do que as perdas ocorridas naturalmente ou provocadas pela ação antrópica. As características químicas do solo que mais são alteradas pelo aumento do conteúdo de matéria orgânica são a capacidade de troca de cátions (CTC), a

disponibilidade de nutrientes para as culturas e a complexação de elementos tóxicos e micronutrientes, as quais são fundamentais em solos altamente intemperizados e ácidos, como a maioria dos solos tropicais (Bayer & Mielniczuk, 2008). Bayer & Mielniczuk (1997) encontraram incremento significativo da CTC de um Argissolo Vermelho escuro sob SPD com elevada adição de resíduos vegetais, sendo que este incremento foi atribuído à elevação nos teores de matéria orgânica do solo que apresentou, naquele trabalho, uma CTC de aproximadamente $314 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$.

A quantidade de resíduos vegetais e o impacto que estes acarretam nos estoques de carbono e matéria orgânica do solo é dependente diretamente das características das plantas utilizadas no plano de rotação de culturas (Amado et al., 2001). As plantas da Família “Leguminosae” são importantes devido ao maior conteúdo de nitrogênio e menor relação C/N em sua biomassa, enquanto, as plantas da Família “Gramineae” contribuem com uma grande quantidade de carbono adicionado ao solo e, por possuírem maior relação C/N, persistem por maior período de tempo protegendo o solo, sendo resistentes ao ataque dos microrganismos do solo no processo de decomposição (Aita & Giacomini, 2006).

Dessa maneira, as plantas de cobertura a serem utilizadas em sistemas de culturas devem conferir rápida e persistente cobertura do solo, e possuir a maior variedade de nutrientes na sua composição química, considerando que a deposição de palha na superfície do solo vai proporcionar uma liberação gradual desses nutrientes, conforme ocorre o processo de decomposição, promovendo a formação de um gradiente de nutrientes ao longo do perfil do solo (Sá, 2001). A escolha da espécie de planta de cobertura a ser utilizada vai depender, ainda, do solo e do clima do local de culturas, da planta a ser cultivada em subsequência, além das condições sócio-econômicas do produtor (Calegari, 2001).

Rossato (2004) avaliou o efeito que o nabo forrageiro exercia na absorção de nutrientes na cultura do trigo, quando cultivado em sistema de rotação de cultura com o milho, sob SPD. A ciclagem de potássio foi significativa, sendo que os teores acumulados pelo nabo forrageiro foram maiores do que os exportados pelo trigo e pelo milho. Comparando o cultivo de nabo forrageiro com a utilização de pousio antecedendo a cultura do trigo, o autor encontrou maior produção de matéria seca, maior acúmulo de nutrientes e maiores rendimentos de grãos de trigo com a utilização da planta de cobertura, evidenciando que no intervalo de tempo compreendido entre a cultura de verão e a cultura de inverno, o cultivo desta planta

é viável e adquire fundamental importância em sistemas de culturas que busquem elevados índices de produtividade e rendimento, no planalto médio do Rio Grande do Sul.

Além de proporcionarem diferentes quantidade e qualidade de resíduos adicionados ao solo, a diversificação de culturas favorece a fauna edáfica, exerce efeitos alelopáticos contribuindo para a redução de ataque de pragas e doenças, e ainda contribui para a melhoria da estrutura do solo pelo diferenciado sistema radicular das plantas (Deprsch et al., 1985). Espécies de plantas como o nabo forrageiro e a ervilhaca podem reciclar e fixar biologicamente uma considerável quantidade de nutrientes, podendo chegar a 47 kg ha^{-1} de nitrogênio (N) por tonelada de matéria seca produzida (Borkert et al., 2003), no caso da leguminosa, enquanto o nabo forrageiro pode chegar a até 135 kg ha^{-1} de N (Derpsch et al., 1985) e 190 kg ha^{-1} de potássio (K) (Nicoloso et al., 2008a), além de ser uma planta eficiente no rompimento de camadas compactadas de solo (Nicoloso et al., 2008b). Efeito positivo de rotação de culturas com adubos verdes intercalares a culturas de grãos foi demonstrado por Castro et al. (1993) que encontraram maior nodulação na cultura da soja quando cultivada em rotação com milho no verão e aveia preta e crotalária no outono-inverno, sob sistema de plantio direto, em comparação com a soja cultivada em monoculturas e sob sistema de preparo convencional.

Plantas de cobertura ou adubos verdes de verão também têm importância conhecida no SPD, embora muitas vezes sejam pouco utilizadas, devido principalmente a incompatibilidade de seu cultivo na mesma área com outras culturas comerciais (Perin et al., 2007). Porém, algumas espécies como o feijão de porco e a mucuna podem ser cultivadas nas entrelinhas da cultura do milho, do girassol, do feijão preto, entre outras, sem problemas de competição; e por serem leguminosas e de fácil implantação e estabelecimento, favorecem a cultura granífera por meio da cobertura do solo, controle de ervas daninhas e pela posterior liberação de N contido em sua biomassa.

Além do efeito positivo do SPD na redução das perdas de solo e água das lavouras (Debarba, 1993; Seganfredo et al., 1997), o fator cobertura do solo proporcionado por diferentes materiais vegetais, como os adubos verdes, incluídos em sistemas de culturas que visem à produção de grãos de soja e milho, pode determinar ao longo dos anos a melhoria da qualidade e o aumento da produtividade do solo. Podem também incrementar os estoques originais de carbono e nitrogênio,

além de beneficiar indiretamente alguns atributos físicos como densidade, macroporosidade e taxa de infiltração de água no solo (Agostinetto et al., 2000). Segundo Vezzani et al. (2008), a inserção de plantas de cobertura do solo, intercalares ao culturas de plantas com objetivo de produzir grãos, em SPD, é uma das práticas agrícolas mais eficazes quando se busca o aumento do teor de C orgânico total do solo.

Bayer et al. (2006a) e Bayer et al. (2006b) citam que para que o SPD mantenha o conteúdo original de carbono orgânico ou matéria orgânica do solo, ou seja, os valores encontrados antes do cultivo antrópico, para um Argissolo Vermelho, seriam necessárias no mínimo $3,9 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}$ de adição de C fotossintetizado. Nicoloso et al. (2008c) encontraram, para um Argissolo Vermelho-amarelo, uma necessidade estimada de adição de $3,9 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de C, ou seja, aproximadamente $11 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de adição de matéria seca vegetal, para a manutenção dos estoques originais de C do solo. Se o sistema de culturas utilizado for o SPC, no mesmo tipo de solo, com revolvimento e incorporação de resíduos, esse valor sobe para $8,5 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}$ de adição de C fotossintetizado (Lovato et al., 2004). Para que ocorra um incremento nos valores originais de C orgânico total do solo, seriam necessários ainda maiores aportes de matéria seca de plantas. Dependendo do tipo e mineralogia do solo, clima, sistema de manejo e das plantas utilizadas (Mielniczuk, 1999), pode-se chegar a um acúmulo médio de $0,58 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de C (Bayer et al., 2006b).

O presente trabalho teve como objetivo verificar o efeito do sistema plantio direto com inclusão de adubos verdes de inverno e verão, em rotação de culturas de soja e milho, em alguns atributos químicos e de fertilidade do solo, entre eles o conteúdo de matéria orgânica, pH, potássio, fósforo, cálcio, magnésio, e alumínio, capacidade de troca de cátions efetiva, e soma de bases, após 16 anos de utilização dos sistemas de culturas.

2.3 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi instalado em área que era mantida sob pastagem nativa, com predomínio de espécies gramíneas de estação quente. A área foi padronizada com uma aplicação de calcário dolomítico ($6,5 \text{ Mg ha}^{-1}$) e adubação de correção (130 kg ha^{-1} de P_2O_5), incorporadas com a realização de uma aração e duas gradagens, ambas em nível. Em 1996 foi realizada uma segunda aplicação de calcário, na superfície do solo, na dosagem de $2,0 \text{ Mg ha}^{-1}$, conforme descrito em Debarba & Amado (1997). Em 2005 foi aplicada uma dose de reposição de calcário, nas dosagens de $0,50 \text{ Mg ha}^{-1}$ para os tratamentos MFP, POU e NFO, $2,0 \text{ Mg ha}^{-1}$ para o tratamento AZEV, e $1,3 \text{ Mg ha}^{-1}$ para o tratamento MUC.

No mês de maio de 2007 foram coletadas 20 subamostras de solo, aleatoriamente dentro de cada parcela experimental, em cada tratamento, com trado calador, nas profundidades de 0,0 – 0,025 m, 0,025 – 0,05 m, 0,05 – 0,075 m, 0,075 – 0,10 m, 0,10 – 0,15 m, e 0,15 – 0,20 m, para avaliação das propriedades químicas do solo, seguindo a metodologia descrita por Tedesco et al. (1995). Para melhor detalhar a camada superficial do solo, que em sistema de plantio direto apresenta um gradiente de concentração de nutrientes, a camada de 0,0 - 0,10 m foi dividida em quatro profundidades. Foram determinadas nas amostras compostas pelas 20 subamostras, em quatro repetições por tratamento, os teores de matéria orgânica do solo (oxidação úmida), fósforo extraível (Mehlich-I), potássio trocável (Mehlich-I), cálcio + magnésio e alumínio trocáveis, pH (em água), soma de bases e capacidade de troca de cátions efetiva.

Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância e análise de regressão simples, e as médias comparadas pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade, utilizando o pacote estatístico SAS (Statistics Analise Systems, 1991).

2.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

2.4.1 pH do solo

Os atributos químicos relacionados à acidez do solo, nos diferentes sistemas de culturas e profundidades avaliadas, são apresentados na Tabela 4. Observa-se um decréscimo nos valores de pH do solo com o incremento da profundidade, em todos os tratamentos avaliados, inclusive no campo nativo (CNA). Os valores de pH nas camadas de 0,025 – 0,05 e 0,15 – 0,20 m não apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos, enquanto nas demais camadas estudadas essas diferenças foram detectadas. Na camada superficial (0,0 – 0,025 m) o solo submetido ao consórcio de gramínea e leguminosa no inverno (AZEV) apresentou o pH mais elevado, diferindo apenas do solo descoberto (SDES), que por sua vez não diferiu dos demais tratamentos.

Observando os valores obtidos até 0,05 m, constata-se que o pH do solo não sofreu influência significativa dos sistemas de culturas empregados, sendo que o tratamento testemunha (CNA) apresentou-se semelhante tanto ao solo severamente erodido (SDES) quanto ao solo intensivamente cultivado em sistema de plantio direto (AZEV, MFP e MUC). Alterações mais pronunciadas ocorreram na camada de 0,05 – 0,10 m, com o solo mantido descoberto apresentando os mais altos valores de pH. Na camada 0,05 – 0,075 m, o SDES assemelhou-se aos tratamentos MFP, MUC, CNA e NFO, e aos tratamentos MFP e CNA na camada de 0,075 – 0,10 m. A camada de 0,10 – 0,15 m apresentou comportamento muito semelhante ao da camada superficial.

Observa-se que, analisando os valores de pH do tratamentos SDES, houve um efeito residual significativo da primeira aplicação de calcário realizada na implantação do experimento, há 16 anos. Kaminski et al. (2005) avaliaram a eficiência da calagem realizada na superfície do solo ou incorporada, precedendo o sistema plantio direto, num Argissolo Acinzentado, a partir de um campo nativo, e encontraram maior eficiência quando a dose de calcário foi incorporada com uma aração e duas gradagens, proporcionando alterações nos atributos químicos

relacionados à acidez do solo em profundidades maiores do que aquele aplicado em superfície. Concluíram também que o efeito residual da aplicação de calcário antes do início do SPD tem duração superior a sete anos, quando da aplicação da dose integral da necessidade de calcário para correção da acidez do solo, sendo encontrados nessa condição alterações nos valores de pH, Ca e Mg do solo até as profundidades de 0,12; 0,15 e 0,175 m, respectivamente.

A acidificação do solo verificada nos tratamentos que foram cultivados (MFP, POU, AZEV, MUC e NFO), em relação aos que não foram cultivados (CNA e SDES), pode ser atribuída ao efeito da adubação química realizada para a obtenção de alta produtividade (COMISSÃO DE FERTILIDADE..., 2004), principalmente a adubação nitrogenada para a cultura do milho, que proporcionou determinada frente de acidificação, a partir da superfície do solo, em direção a camadas mais profundas. Outro fator a ser atribuído tais resultados é a liberação de compostos ácidos orgânicos provenientes da decomposição dos resíduos vegetais produzidos pelas culturas e deixados na superfície do solo (Paiva et al., 1996; Franchini et al., 2000; Santos et al., 2003), o que ocorreu em todos os tratamentos estudados, com exceção do solo descoberto.

2.4.2 Alumínio trocável

Os teores de alumínio trocável no solo encontrados em cada tratamento e profundidade estudada são apresentados na Tabela 4. Alterações significativas nos valores desse atributo não foram encontradas somente na camada de solo de 0,025 – 0,05 m. Na camada mais superficial estudada (0,0 – 0,025 m), o solo descoberto (SDES) apresentou o maior teor de alumínio trocável, não diferindo do campo nativo (CNA) e do sistema de culturas com nabo forrageiro no outono/inverno (NFO). Estes, porém, não diferiram dos demais sistemas de culturas. Na camada de 0,05 – 0,075 m de profundidade, o tratamento AZEV apresentou o maior teor de Al, em relação ao tratamento MFP e SDES, não diferindo dos demais, enquanto nas camadas seguintes (0,75 – 0,10; 0,10 – 0,15 e 0,15 – 0,20 m), essa diferença ocorreu apenas em relação ao MFP, CNA e MFP, e MFP, respectivamente. Todos os tratamentos avaliados apresentaram aumento do teor de alumínio trocável com o incremento na

profundidade do perfil do solo, tendo comportamento inverso ao apresentado pelo pH do solo e pelos valores de cálcio+magnésio trocáveis (Tabela 4). Os dados obtidos estão de acordo com os encontrados por Santos et al. (2003), Santos & Tomm (1996), Kaminski et al. (2000), e Kaminski et al. (2005), e ressalta o efeito residual da aplicação de calcário na correção da acidez do solo.

Segundo Azevedo et al. (1996), a aplicação de corretivos da acidez do solo, incorporando-o ao mesmo, em sistema de preparo convencional, ou seja, atuando na camada arável (0,0 – 0,20 m), pode apresentar efeito residual por um período superior a 20 anos. A aplicação de calcário incorporado ao solo, que era mantido sob campo nativo, e logo após começou a ser cultivado em sistema de plantio direto, contribui para que os efeitos residuais dessa correção de acidez perdurassem mais efetivamente ainda, uma vez que perdas de solo e conseqüentemente perdas de Ca, Mg e matéria orgânica foram reduzidas neste sistema de manejo do solo.

Soma-se ainda, neste contexto, o aumento da atividade biológica, a melhor estruturação do solo e a formação de poros biológicos e canais subterrâneos que ligam a superfície do solo a camadas mais profundas, favorecendo a movimentação dos cátions no perfil do solo. A Figura 10 mostra a relação entre o pH e o teor de alumínio trocável no solo, até a profundidade de 0,10 m. Observa-se que ocorreu aumento no teor de alumínio trocável, com a diminuição do valor do pH, o que é reflexo da atividade exercida pela correção da acidez do solo através da aplicação de calcário dolomítico incorporado no início do experimento e, distribuído na superfície do solo nas demais aplicações, como também pode ser atribuída a presença de maior quantidade de resíduos orgânicos nesta camada.

2.4.3 Ca e Mg trocáveis

Os valores de cálcio (Ca) + magnésio (Mg) trocáveis (Tabela 4) apresentaram diferenças estatísticas significativas em todas as camadas de solo avaliadas, com aparente tendência de diminuição dos seus valores com o incremento de profundidade no perfil de solo. Nas camadas superficiais, de 0,0 - 0,025 e de 0,025 – 0,05 m, o solo descoberto (SDES) apresentou os mais baixos

valores de Ca+Mg trocáveis, não diferindo nesta última dos tratamentos NFO e POU. Esta camada de solo, no tratamento SDES, foi severamente erodida pela ação da chuva e, conseqüentemente, o sedimento erodido deve ter carregado concentrações elevadas também desses nutrientes.

Tabela 4. Resultados das avaliações de pH, alumínio e cálcio + magnésio, em seis camadas no solo, nos sistemas de culturas estudados, após a colheita da safra de verão 2006/2007

Sistemas de culturas	Profundidade, m					
	0,0-0,025	0,025-0,05	0,05-0,075	0,075-0,10	0,10-0,15	0,15-0,20
pH, em água 1:1						
MFP	5,45ab	5,13a	5,05ab	5,03ab	5,10a	5,00a
SDES	5,18b	5,15a	5,20a	5,08a	5,03ab	4,88a
POU	5,35ab	5,05a	4,90bc	4,70c	4,88ab	4,75a
AZEV	5,63a	5,13a	4,70c	4,78bc	4,80b	4,75a
MUC	5,45ab	5,13a	4,95abc	4,78bc	4,78b	4,73a
CNA	5,38ab	5,23a	5,08ab	5,03ab	5,03ab	4,93a
NFO	5,30ab	5,00a	4,93abc	4,85bc	4,85ab	4,85a
Alumínio, $\text{cmol}_c\text{dm}^{-3}$						
MFP**	0,06b	0,22a	0,52b	0,48b	0,47c	0,55b
SDES	0,33a	0,58a	0,57b	0,85ab	1,07ab	1,26a
POU	0,03b	0,46a	0,83ab	1,25a	1,07ab	1,18a
AZEV	0,01b	0,57a	1,16a	1,32a	1,38a	1,17a
MUC	0,02b	0,35a	0,78ab	1,10a	0,91abc	1,13a
CNA	0,20ab	0,50a	0,71ab	0,73ab	0,66bc	0,88ab
NFO	0,20ab	0,42a	0,77ab	0,93ab	0,97abc	1,11a
Cálcio + magnésio, $\text{cmol}_c\text{dm}^{-3}$						
MFP	7,23bc	5,21ab	4,36ab	4,69ab	4,17ab	4,24ab
SDES	3,30d	3,15c	4,41ab	4,29abc	3,97ab	3,16abc
POU	7,22bc	4,37bc	3,81bc	2,91bc	2,81b	2,67bc
AZEV	8,94a	4,60ab	2,92c	2,47c	2,38b	2,33c
MUC	8,41ab	5,93a	3,61bc	3,47abc	3,47ab	3,28abc
CNA	8,20ab	5,69ab	5,23a	4,81a	4,92a	4,79a
NFO	6,23c	4,32bc	3,13bc	3,05abc	2,76b	2,65bc

MFP: Milho + feijão de porco/soja; SDES: Solo descoberto; POU: Milho/pousio/soja/pousio; AZEV: Milho/azevém + ervilhaca/soja/azevém + ervilhaca; MUC: Milho + mucuna/soja; CNA: Campo nativo; NFO: Milho/nabo forrageiro/soja/nabo forrageiro. Médias seguidas pela mesma letra, para cada variável e para cada profundidade, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

Apesar de ter mobilidade lenta e gradual, a remoção de grande quantidade de solo pela ação da chuva determina a remoção conjunta dos nutrientes presentes no solo, fazendo com que essa diferença de aproximadamente 150% na

concentração de Ca+Mg trocável entre o solo descoberto (SDES) e o solo sob vegetação nativa (CNA) seja verificada, fortalecendo o efeito protetor que a manutenção permanente da cobertura do solo com plantas e resíduos vegetais exerce no controle da erosão hídrica do solo.

Embora o aumento dos teores de Ca + Mg trocáveis no solo sejam relacionados com a diminuição da acidez do solo (Ferreira et al., 2007; Kaminski et al., 2005), no presente estudo os valores de pH do solo não demonstraram tal efeito (Tabela 4).

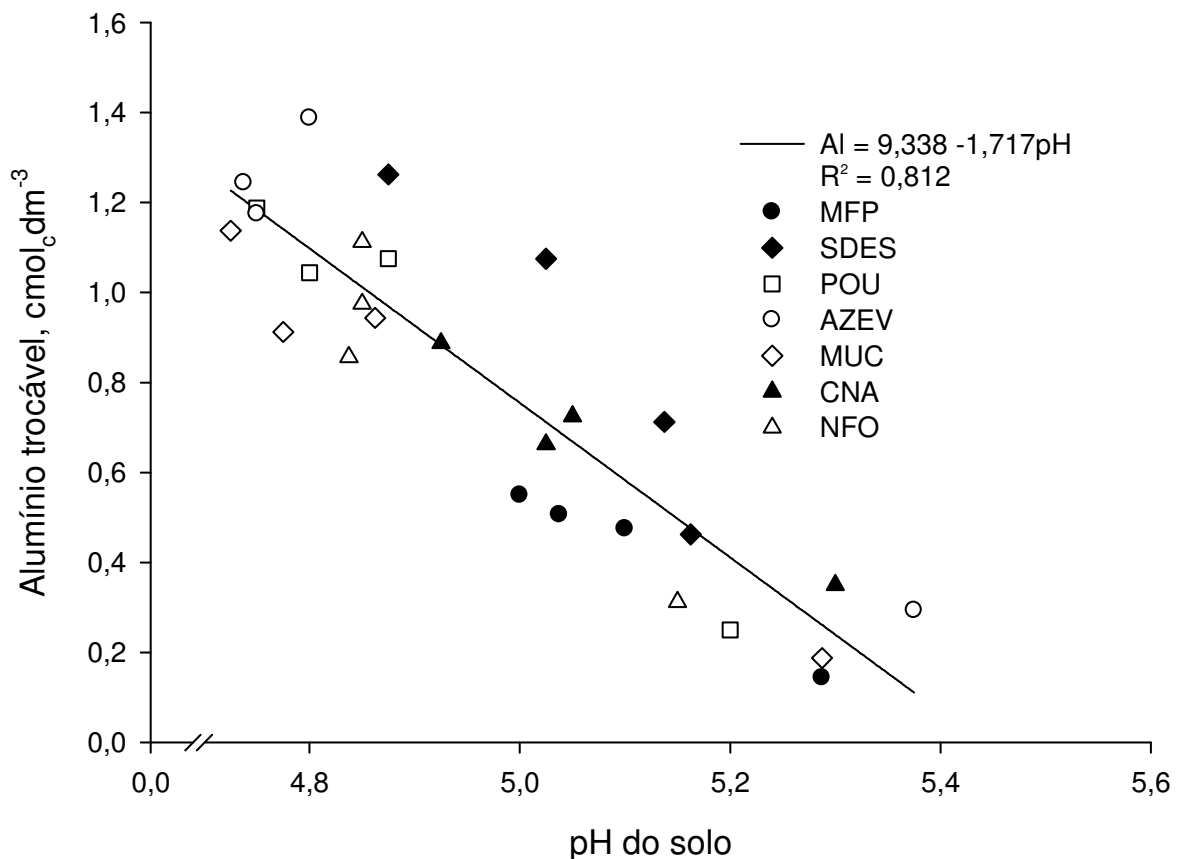


Figura 10. Relação entre o pH do solo em água e o teor de alumínio trocável, na camada de 0,10 m, nos diferentes sistemas de culturas avaliados (MFP: Milho + feijão de porco/soja; SDES: Solo descoberto; POU: Milho/pousio/soja/pousio; AZEV: Milho/azevém + ervilhaca/soja/azevém + ervilhaca; MUC: Milho + mucuna/soja; CNA: Campo nativo; NFO: Milho/nabo forrageiro/soja/nabo forrageiro).

Num experimento de longa duração, sem prática de calagem, em solo classificado como Argissolo Vermelho-amarelo, portanto semelhante ao do presente estudo, Falleiro et al. (2003) compararam o SPD a outros sistemas de preparo do solo, e encontraram maiores valores de pH, Ca, Mg, MOS, CTC, K e P, e menores valores de Al trocável, na camada de 0,0 - 0,05 m no SPD, sendo atribuído os resultados ao fato do não revolvimento do solo nesse sistema, à reciclagem de nutrientes exercida pelos cultivos de soja, milho, feijão e trigo, e ao acúmulo de resíduos orgânicos na superfície do solo.

Resíduos vegetais liberam, após sua decomposição, elevadas concentrações de ácidos húmicos, que, por sua vez, determinam a formação de cargas negativas no solo (Bayer & Bertol, 1999), responsáveis pela complexação de elementos promotores da acidez do solo (H e Al).

A Figura 11 apresenta a relação encontrada para os valores de pH do solo e conteúdo de MOS. Observa-se que esta relação é diretamente proporcional, ou seja, à medida que se incrementam os teores de MOS, o pH tende a manter-se em níveis elevados, podendo-se inferir que no SPD a prática da calagem tem efeito residual maior no solo em função da grande quantidade de resíduos vegetais produzidos e mantidos na superfície do solo, mesmo apresentando decréscimo gradual dos valores de Ca+Mg trocáveis em profundidade no perfil. A grande quantidade de resíduos vegetais e a intensa atividade microbiana resultante da decomposição desses resíduos podem determinar a manutenção de níveis elevados de pH mesmo em condições de baixos teores de Ca+Mg trocáveis, para os tratamentos que são cultivados, enquanto no solo descoberto a remoção da camada superficial, erodida pela chuva, deve ter removido juntamente com os sedimentos, grande quantidade de alumínio e manganês, responsáveis pela acidez ativa do solo.

A diminuição dos valores de pH foi menos acentuada a partir da superfície do solo em direção às camadas mais profundas, em comparação com a diminuição verificada nos valores de Ca+Mg trocáveis (Tabela 4), reforçando a teoria de que o efeito imediato e pronunciado da calagem é condicionado às camadas superficiais do solo. Os resultados encontrados também demonstram que apenas a análise de uma variável da acidez do solo, no caso o valor do pH, não é suficiente para se ter uma idéia real do potencial produtivo do solo e de sua quantidade e disponibilidade de nutrientes, sendo já constatado que elevados rendimentos de grãos e culturas

podem ser obtidos no SPD mesmo em áreas com elevada acidez (Nicolodi et al., 2008).

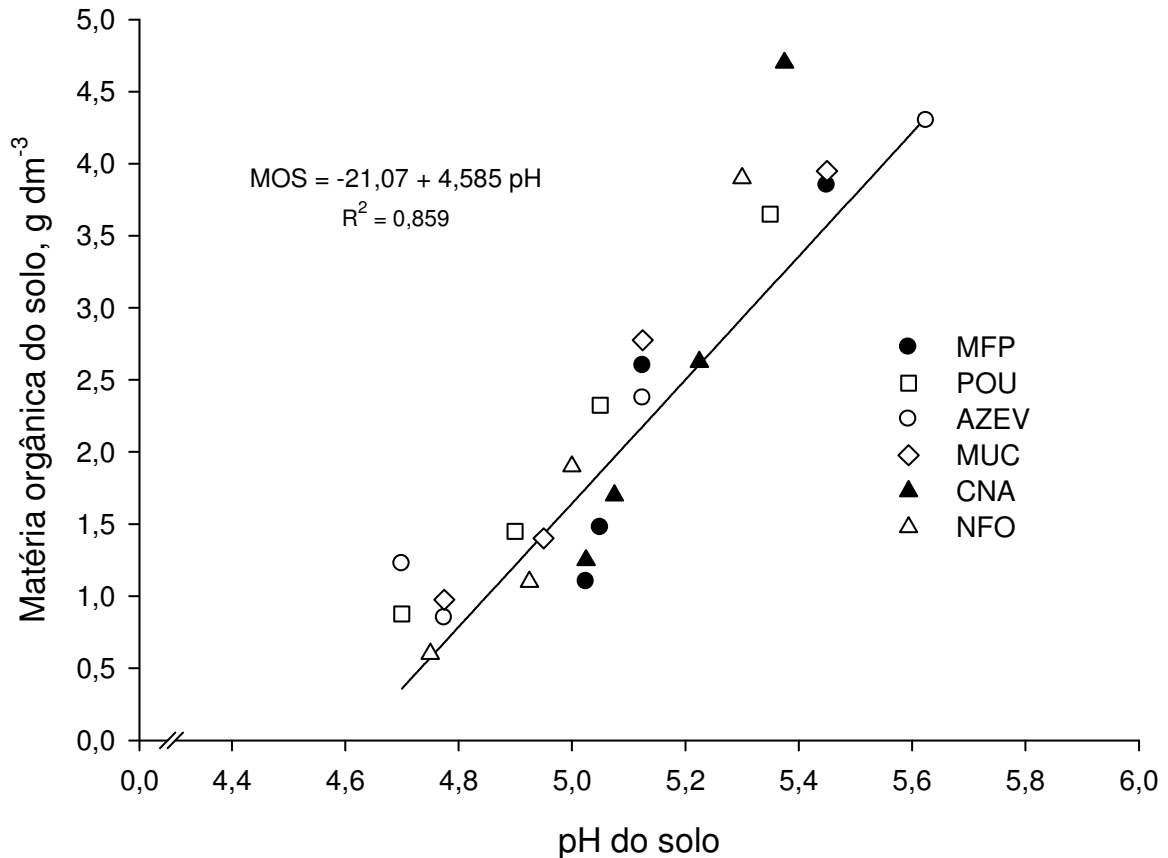


Figura 11. Relação entre pH em água e teor de matéria orgânica do solo na camada de 0,0 - 0,10 m nos diferentes sistemas de culturas estudados (MFP: Milho + feijão de porco/soja; POU: Milho/pousio/soja/pousio; AZEV: Milho/azevém + ervilhaca/soja/azevém + ervilhaca; MUC: Milho + mucuna/soja; CNA: Campo nativo; NFO: Milho/nabo forrageiro/soja/nabo forrageiro).

O aumento do conteúdo de MOS através do aumento do pH do solo é baseado no fato de que com pH do solo mantido em faixas próximas a 6,0 ocorre a maior disponibilidade de nutrientes essenciais ao desenvolvimento das plantas (P, K, Ca, Mg, B, S, Mo), ao mesmo tempo em que nessa faixa de pH os elementos potencialmente tóxicos (Al, Mn) ao desenvolvimento das plantas estão em níveis de baixa disponibilidade. Essa interação entre pH e disponibilidade dos nutrientes afeta diretamente o desenvolvimento radicular e a produtividade das culturas, que através

da produção matéria seca e da relação carbono/nitrogênio em seus tecidos vão alterar os níveis de MOS.

2.4.4 Matéria orgânica do solo

Os resultados de matéria orgânica do solo (MOS) (Tabela 5) reforçam o caráter seletivo da erosão hídrica, uma vez que foi detectada, no tratamento SDES, perda de seu teor até a profundidade de 0,075 m, desconsiderando ainda a camada superficial de solo que foi removida com as chuvas ao longo do período experimental. Conclusão semelhante foi obtida anteriormente por Seganfredo et al. (1997), no mesmo experimento.

O longo período de tempo, 16 anos, sem cultivo de plantas, e por isso, sem adição de carbono ao solo, aliado ao efeito da erosão hídrica, foi responsável por uma diminuição significativa no conteúdo de MOS no tratamento SDES, que variou de 11,75 a 1,9 vezes, nas camadas de 0,0 – 0,025 e 0,15 – 0,20 m, respectivamente, em comparação à condição original do solo, o tratamento CNA. Até a profundidade de 0,075 m, o solo mantido sem cobertura vegetal e sem cultivo (SDES) apresentou os menores conteúdos de MOS. Na camada seguinte, de 0,075 – 0,10 m, apresentou-se numericamente inferior aos demais tratamentos, e, nas camadas mais profundas, de 0,10 – 0,15 e 0,15 – 0,20 m, não diferiu dos demais sistemas de culturas que utilizaram o plantio direto, à exceção do tratamento POU na camada 0,15 – 0,20 m. Na camada superficial do solo, até 0,05 m, onde ocorre maior concentração de resíduos vegetais adicionados, e em consequência maiores atividade biológica e conteúdo de carbono e matéria orgânica, os tratamentos avaliados, com exceção do SDES, e do NFO na camada de 0,025 – 0,05 m, não apresentaram diferenças significativas em relação aos valores encontrados no solo sob campo nativo (CNA).

Embora não sendo estatisticamente diferente, o tratamento que utilizou pousio invernal (POU) apresentou os menores conteúdos de MOS até a profundidade de 0,05 m, o que pode ser atribuído ao menor número de cultivos realizados neste sistema. Essa situação pode ser agravada ainda mais quanto maior for o número de cultivos ou de safras de soja, em detrimento ao cultivo de milho,

uma vez que a cobertura do solo e produção de matéria seca proporcionada pela soja é relativamente baixa, em razão de ser uma leguminosa e possuir baixa relação C/N em comparação ao milho. Assim, o tempo de persistência dos resíduos na superfície do solo é curto, sendo rapidamente decompostos pelos microrganismos do solo, permanecendo o solo vários meses com pouca cobertura e proteção. Essa situação favorece o processo erosivo e expõe o seu estoque de carbono ao ataque microbiano.

Tabela 5. Matéria orgânica, fósforo e potássio, em seis camadas de um Argissolo Vermelho submetido a diferentes sistemas de culturas em plantio direto durante 16 anos

Sistemas de culturas	Profundidade, m					
	0-0,025	0,025-0,05	0,05-0,075	0,075-0,10	0,10-0,15	0,15-0,20
Matéria orgânica, g dm ⁻³						
MFP	3,85a	2,60a	1,47ab	1,10ab	0,65a	0,45 c
SDES	0,42 b	0,40 c	0,54 c	0,57 b	0,50a	0,51 c
POU	3,65a	2,32ab	1,45ab	0,87ab	0,65a	0,60 b
AZEV	4,30a	2,37ab	1,22 b	0,85ab	0,55a	0,35 c
MUC	3,95a	2,77a	1,40ab	0,97ab	0,57a	0,42 c
CNA	4,70a	2,62a	1,70a	1,25a	0,77a	0,97a
NFO	3,90a	1,90 b	1,10 b	0,60 b	0,30a	0,30 c
Fósforo, mg dm ⁻³						
MFP	29,3a	27,2ab	25,5ab	21,7 bc	18,7 bc	12,5 bc
SDES	2,2 b	2,0 c	1,6 c	1,2 d	1,1 d	1,0 d
POU	27,7a	24,7 b	25,0 b	13,2 c	14,7 c	12,7 c
AZEV	26,0a	23,0 b	19,5 b	14,2 c	12,5 c	12,7 c
MUC	31,5a	31,0a	26,5a	25,2a	22,0a	20,2a
CNA	2,7 b	2,5 c	1,7 c	1,3 d	1,2 d	1,1 d
NFO	28,5a	24,5ab	19,5 b	13,6 c	11,5 c	10,0 c
Potássio, mg dm ⁻³						
MFP	161ab	136a	121ab	110a	84ab	68 b
SDES	33 d	19 d	15 d	15 b	13 c	13 c
POU	97 c	89 c	88 bc	82a	81 b	71ab
AZEV	173a	153a	128a	102a	106a	89a
MUC	164a	126ab	100ab	85a	76 b	66 b
CNA	119 c	83 c	56 c	39 b	26 c	22 c
NFO	123 bc	93 bc	88 bc	86a	85ab	77ab

MFP: Milho + feijão de porco/soja; SDES: Solo descoberto; POU: Milho/pousio/soja/pousio; AZEV: Milho/azevém + ervilhaca/soja/azevém + ervilhaca; MUC: Milho + mucuna/soja; CNA: Campo nativo; NFO: Milho/nabo forrageiro/soja/nabo forrageiro. Médias seguidas pela mesma letra, em cada variável e para cada profundidade, não diferem entre si pelo teste de Tukey (P<0,05).

Além disso, a prática do pousio invernal favorece o estabelecimento de espécies de plantas invasoras que não deixam de ser uma cobertura do solo; porém, segundo Aita & Giacomini (2006), sistemas de culturas que envolvem plantas de cobertura no outono/inverno produzem quantidades de matéria seca, carbono e nitrogênio superiores em relação às plantas invasoras correspondentes aos sistemas que utilizam pousio no outono/inverno.

Na camada de 0,075 – 0,10 m, os tratamentos apresentaram tendências semelhantes as que foram encontradas na camada ligeiramente superior (0,05 – 0,075 m), com o sistema de culturas com nabo forrageiro no inverno (NFO) apresentando a menor média numérica em relação ao campo nativo (CNA), não diferindo estatisticamente da menor média geral encontrada no SDES, e dos demais tratamentos.

Cruz et al. (2003) encontraram, na camada de 0,0 – 0,10 m em um Argissolo Vermelho, maior conteúdo de carbono orgânico do solo no sistema plantio direto, em comparação com o solo sob campo nativo, não concordando com os dados aqui obtidos. Porém, na camada de 0,10 – 0,20 m, o campo nativo apresentou a maior média, a qual foi atribuída à maior densidade de raízes das espécies gramíneas que compõem essa vegetação e à atividade biológica abundante nesse sistema natural. A constatação de alterações significativas no conteúdo de MOS na camada de 0,15 – 0,20 m sugere que os sistemas de culturas avaliados resultaram em constituições e densidades radiculares diferenciadas, uma vez que a concentração do sistema radicular nas camadas superficiais do solo é uma característica do sistema de plantio direto. Nessa profundidade (0,15 – 0,20 m), o tratamento CNA apresentou maior conteúdo de MOS do que os demais sistemas de culturas, os quais, por sua vez, foram semelhantes ao solo descoberto (SDES), com exceção do tratamento POU. Além da maior a concentração de nutrientes superficialmente no plantio direto, a quantidade de palha fornecida pelos cultivos proporciona também melhores condições de temperatura e umidade do solo, favoráveis ao desenvolvimento das plantas. Dessa maneira, em condições de não ocorrência de déficit hídrico, a planta não necessita aprofundar suas raízes em busca de água e nutrientes; a consequência é a exploração das camadas de solo superficiais, sendo que, após o término de seu ciclo de vida, a planta concentra os nutrientes liberados pela decomposição de suas raízes nessa camada.

2.4.5 Fósforo trocável

O conteúdo de fósforo trocável no solo, nos sistemas de culturas estudados, nas seis profundidades avaliadas, é apresentado na Tabela 5. Diferenças significativas foram encontradas em todas as camadas de solo, especialmente nas maiores profundidades. O cultivo de mucuna entre as linhas da cultura do milho, em rotação com a cultura da soja (MUC), apresentou os mais elevados valores de fósforo trocável em todas as profundidades avaliadas, diferindo estatisticamente do tratamento SDES e CNA na camada 0,0 – 0,025 m, CNA, POU, AZEV e SDES na camada 0,025 – 0,05 m, CNA, NFO, POU, NFO e SDES na camada 0,05 – 0,075 m, e de todos os tratamentos nas camadas inferiores.

O solo mantido sob vegetação natural (CNA) e o descoberto (SDES) apresentaram-se semelhantes em todas as camadas, e com valores menores em relação aos demais tratamentos, o que pode ser atribuído ao fato de que, nestes dois tratamentos não houve cultivos com plantas, bem como adubações periódicas e freqüentes com fertilizantes fosfatados. Deve ser atribuído também a estes maiores valores encontrados, em relação aos valores encontrados no solo da área experimental, antes da instalação do experimento, à aplicação incorporada de 130 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e de 6,5 t ha⁻¹ de calcário, a fim de correção de acidez e uniformização da área. Observou-se ainda a tendência de diminuição da concentração de fósforo trocável com o incremento da profundidade no perfil do solo, em todos os tratamentos avaliados, porém com baixo gradiente.

Segundo Sidiras & Pavan (1985), o SPD proporciona uma concentração de nutrientes, incluindo o fósforo, na camada superficial do solo, diminuindo com o incremento na profundidade do solo, o que é devido ao fato de não haver revolvimento do solo no momento do plantio, e pela constante aplicação de adubos na mesma profundidade pelas máquinas agrícolas. Santos et al. (2003) encontraram gradiente do teor de fósforo em profundidade semelhante aos encontrados no presente trabalho.

Os valores de P trocável encontrados no tratamento com vegetação espontânea no inverno (POU), apesar de serem semelhantes onde se fez o cultivo de plantas de cobertura de inverno (AZEV e NFO), em todas as camadas avaliadas, não concordam com os dados obtidos por Giacomini et al. (2003), que obtiveram

maior acúmulo desse nutriente nos consórcios e cultivos isolados das plantas de cobertura de inverno. Os autores atribuíram o resultado ao fato de haver maior concentração de fósforo no tecido de plantas leguminosas, no caso, a ervilhaca, em relação às espécies gramíneas. Da Ros (1993) também encontrou maior concentração de P no tecido da ervilhaca, em comparação com espécies gramíneas de inverno. Outro fator importante é que as adubações fosfatadas foram realizadas apenas nos cultivos de verão, soja e milho, as quais também foram cultivadas no tratamento POU.

A mucuna e o feijão de porco foram muito eficientes em manter o teor de P elevado (Tabela 5). Os mecanismos que estas leguminosas tropicais possuem para absorver este nutriente do solo são diferenciados em relação às culturas comerciais como a soja e o milho, por exemplo. Elas têm habilidade de absorver nutrientes que apresentam uma disponibilidade baixa para as demais, como é o caso do fósforo. Essas espécies de leguminosa tropical exsudam determinados ácidos de seu sistema radicular, como o ácido psídico, que, reagindo com a fase mineral do solo, torna disponíveis formas de fósforo que antes não estavam em forma passível de assimilação (Alvarenga, 1995). Além disso, essas plantas apresentam tolerância a déficit hídrico, resistência a pragas e doenças, e agressividade no desenvolvimento, contribuindo para que a reciclagem de nutrientes seja expressiva.

Outro fator fundamental para o desempenho apresentado por estas leguminosas é a associação benéfica de seu sistema radicular com fungos micorrízicos arbusculares que vivem no solo. Os fungos são compostos por filamentos (hifas) que penetram nas raízes e funcionam como um sistema radicular adicional, aumentando a área de absorção de nutrientes; como o processo principal de absorção do fósforo é a interceptação radicular, essas plantas conseguem mesmo em condições de baixa disponibilidade do nutriente, suprir suas necessidades (Camel et al., 1991; Pessoa et al., 1994).

2.4.6 Potássio trocável

Os valores de potássio trocável no solo apresentaram ampla faixa de variação, tanto entre os tratamentos quanto entre as camadas de solo estudadas

(Tabela 5). O consórcio entre gramínea e leguminosa no inverno, em rotação de culturas com soja e milho no verão (AZEV) foi o tratamento que apresentou os maiores valores em todas as camadas, sendo semelhantes também ao sistema de culturas que envolveram os adubos verdes de verão, que foram consorciados com a cultura do milho (MFP e MUC), com exceção das camadas de 0,10 – 0,15 m para o tratamento MUC e 0,15 – 0,20 para os tratamentos MUC e MFP. O sistema que utilizou pousio invernal (POU) apresentou comportamento semelhante ao verificado no campo nativo (CNA), até a profundidade de 0,0 - 0,10 m. Nas camadas seguintes, os seus valores foram significativamente superiores, indicando que o adubo aplicado na superfície do solo possui mobilidade e movimentação até pelo menos 0,20 m de profundidade, sendo já relatadas inclusive perdas de potássio por lixiviação no perfil de solo (Foloni & Rosolém, 2008).

O solo mantido descoberto apresentou valores baixos de potássio em todas as camadas, sendo que na superficial, de 0,0 – 0,025 m, o resultado se assemelhou ao encontrado há 16 anos, antes da instalação do experimento (Debarba, 1993). Nas camadas seguintes, os valores foram inferiores aos demais sistemas de culturas até a profundidade de 0,10 m, pois, de 0,10 – 0,20 m, o campo nativo (CNA) e o solo descoberto (SDES) equivaleram-se, demonstrando a baixa fertilidade natural do solo original em estudo. Na camada de solo de 0,10 – 0,15 m, a concentração de potássio no tratamento com consórcio de gramínea e leguminosa no inverno chegou a ser de 8 e 4 vezes superior ao encontrado no solo exposto (SDES) e em sua condição original (CNA), respectivamente.

Giacomini et al. (2003), avaliando a produção de matéria seca, relação C/N e o acúmulo de N, P e K em misturas de plantas de cobertura do solo, no mesmo tipo de solo do presente experimento, concluíram que o culturas de plantas de cobertura, gramíneas e leguminosas em sistema de consórcio, apresenta melhores resultados de acúmulo de N, P e K do que o culturas de cada planta isoladamente, por reunirem ao mesmo tempo características das duas espécies cultivadas. Os resultados indicaram ainda que o sistema de consórcio com aveia preta e ervilhaca e nabo forrageiro e ervilhaca apresentaram maior produção de biomassa do que cada espécie isolada e do que o sistema com pousio invernal, que apresentava apenas espécies de estabelecimento espontâneo. Este efeito benéfico do consórcio ocorreu porque reuniu a elevada capacidade de produção de fitomassa

da aveia preta e do nabo forrageiro, e a capacidade de fixação de N atmosférico da ervilhaca.

2.4.7 Evolução temporal dos atributos químicos do solo avaliados

Na Tabela 6 são apresentados os valores dos atributos químicos do solo relacionados à sua acidez, em duas épocas de avaliação, antes da instalação do experimento, em 1991 (Debarba, 1993), e no ano de 2007, ou seja, 16 anos após.

Tabela 6. Atributos da acidez de um Argissolo Vermelho submetido a diferentes sistemas de culturas, em duas épocas de avaliação. Dados de 1991 foram extraídos de Debarba (1993)

Tratamento	Atributos de acidez do solo*					
	Alumínio trocável, cmol _c dm ⁻³		pH do solo, em H ₂ O		Cálcio + Magnésio, cmol _c dm ⁻³	
	1991	2007	1991	2007	1991	2007
MFP	1,4	0,32	4,5	5,1	2,6	3,4
SDES	1,4	0,58	4,5	5,1	2,6	2,3
POU	1,4	0,64	4,5	5,0	2,6	2,8
AZEV	1,4	0,76	4,5	5,0	2,6	2,9
MUC	1,4	0,56	4,5	5,0	2,6	3,3
CNA	1,4	0,53	4,5	5,1	2,6	3,3
NFO	1,4	0,58	4,5	4,9	2,6	2,6

MFP: Milho + feijão de porco/soja; SDES: Solo descoberto; POU: Milho/pousio/soja/pousio; AZEV: Milho/azevém + ervilhaca/soja/azevém + ervilhaca; MUC: Milho + mucuna/soja; CNA: Campo nativo; NFO: Milho/nabo forrageiro/soja/nabo forrageiro. *Média da camada de 0,0 – 0,20 m de profundidade.

Observa-se, pela evolução temporal dos valores de alumínio, pH e cálcio + magnésio, o efeito residual da prática da calagem incorporada na camada 0,0 – 20 m antes da implantação das culturas no início do experimento, bem como na superfície do solo nas demais aplicações ocorridas nos anos de 1996 e 2005. Tal efeito é ainda constatado no tratamento com solo mantido descoberto continuamente (SDES), reforçando as conclusões de Azevedo et al. (1996), que afirmam que o efeito residual de uma aplicação de calcário no solo pode ultrapassar 20 anos. O atributo que apresentou menor variação entre os tratamentos avaliados

foi o pH do solo, cujos valores situaram-se entre 4,9 e 5,1, na média da camada 0,0 – 0,20 m, o que infere ser esta avaliação isoladamente insuficiente para caracterizar o nível de acidez do solo.

Os valores de cálcio + magnésio foram incrementados com o passar dos anos, através da adição de calcário nos tratamentos com plantas (MFP, POU, AZEV, MUC e NFO). Já no tratamento que manteve o solo continuamente descoberto (SDES) verificou-se a diminuição do valor deste atributo, sendo consequência direta da remoção de uma camada superficial de solo pela erosão hídrica pluvial.

A Tabela 7 apresenta os valores de matéria orgânica do solo (MOS), e de fósforo e potássio extraíveis, nos diferentes sistemas de culturas estudados, na média da camada de 0,0 – 0,20 m de profundidade, antes da instalação do experimento e 16 anos após. Apesar de haver concentração superficial dos teores de MOS e de não haver reposição de material vegetal através de cultivos agrícolas, destaca-se nessa avaliação temporal o efeito seletivo da erosão hídrica com relação a MOS, que passou de 2,46 para 0,87 g dm⁻³, ou seja, uma diminuição de aproximadamente 65% em seu conteúdo em 16 anos de exposição à chuva e ao sol, no tratamento solo descoberto. Os tratamentos mostraram também que a prática do cultivo, mesmo em plantio direto, promove alterações no conteúdo de matéria orgânica do solo, em relação a sua condição inicial, como no presente estudo, o campo nativo (CNA).

Todos os tratamentos proporcionaram decréscimos diferenciados no conteúdo de MOS em relação ao CNA, porém essa diminuição deve ser cuidadosamente avaliada, pois de certa forma o manejo do solo sem revolvimento, mas com uso intensivo, é capaz de manter os níveis iniciais de MOS elevados, muito próximos a condição original.

Os valores de potássio no solo foram altamente variáveis após o período de tempo de utilização dos sistemas de culturas. No tratamento AZEV observa-se um aumento de aproximadamente 3,8 vezes no valor de potássio extraível no solo na avaliação de 2007, em relação ao teor encontrado no solo antes da instalação do experimento. Os sistemas que utilizaram mucuna e feijão de porco apresentaram-se muito próximos ao tratamento AZEV, o que pode ser atribuído à presença de espécies leguminosas e seu efeito na reciclagem de nutrientes.

Diminuição no valor de potássio somente foi encontrada no solo continuamente descoberto (SDES), após 16 anos de exposição à ação da chuva, o

que é atribuído diretamente a remoção de uma camada de solo de aproximadamente 0,16 m de espessura. O potássio é um nutriente que apresenta elevada mobilidade no perfil do solo, sendo facilmente removido juntamente com a água de drenagem, bem como facilmente absorvido e liberado pelas plantas (Rossato, 2004; Neves et al., 2009).

Tabela 7. Atributos de fertilidade de um Argissolo Vermelho submetido a diferentes sistemas de culturas, em duas épocas de avaliação. Dados de 1991 foram extraídos de Debarba (1993)

Tratamento	Atributos de fertilidade do solo*					
	Matéria orgânica do solo, g dm ⁻³		K trocável, mg dm ⁻³		P trocável, mg dm ⁻³	
	1991	2007	1991	2007	1991	2007
MFP	2,46	2,26	33	113	1,8	69,2
SDES	2,46	0,87	33	18	1,8	5,2
POU	2,46	2,08	33	84	1,8	44,8
AZEV	2,46	2,19	33	125	1,8	47,5
MUC	2,46	2,28	33	102	1,8	79,4
CNA	2,46	2,57	33	57	1,8	4,4
NFO	2,46	1,88	33	92	1,8	47,7

MFP: Milho + feijão de porco/soja; SDES: Solo descoberto; POU: Milho/pousio/soja/pousio; AZEV: Milho/azevém + ervilhaca/soja/azevém + ervilhaca; MUC: Milho + mucuna/soja; CNA: Campo nativo; NFO: Milho/nabo forrageiro/soja/nabo forrageiro. *Na camada 0,0 – 0,20 m de profundidade.

O teor de fósforo disponível no solo foi fortemente influenciado ao longo da condução do experimento, em todos os tratamentos avaliados. O solo mantido descoberto (SDES) e o campo nativo (CNA) mantiveram-se em valores ligeiramente superiores aos encontrados em 1991, quando da instalação do experimento. Pode-se verificar, na comparação entre os valores de potássio e fósforo, que o último apresentou menor susceptibilidade em ser removido do solo pela erosão do que o potássio. Tal fato pode ser relacionado à maior fixação do fósforo nos colóides e minerais do solo, e também pela baixa solubilidade deste na água do solo (Valladares et al., 2003; Correa et al., 2004).

Os demais tratamentos, por serem cultivados e terem recebido adubos fosfatados por ocasião do plantio das culturas de verão, todos os anos, acabaram acumulando e incrementando seu conteúdo de fósforo ao longo do tempo. As maiores diferenças foram encontradas nos tratamentos MUC e MFP, com

leguminosas de verão em seus sistemas de culturas. POU, AZEV e NFO apresentaram variação muito semelhante, porém abaixo do uso das leguminosas tropicas e da mesma maneira acima do solo descoberto e do campo nativo.

2.4.8 Capacidade de troca de cátions e soma de bases

Na Tabela 8 são apresentados os resultados da avaliação da capacidade efetiva de troca de cátions (CTC), da soma de bases (S) e da saturação da CTC a pH 7,0 por bases (V), em seis camadas no perfil do solo.

A CTC efetiva do solo mostrou grande variação entre os tratamentos avaliados, bem como entre as profundidades amostradas. Nas duas camadas mais superficiais, de 0,0 – 0,025 e 0,025 – 0,05 m, o solo descoberto (SDES) apresentou a menor CTC em relação aos demais tratamentos. Nas demais camadas avaliadas este tratamento apresentou baixos valores desta propriedade, porém diferindo apenas dos tratamentos MFP e CNA na camada 0,05 – 0,075 m. Os valores mais elevados também foram encontrados nas duas camadas superficiais, com os tratamentos AZEV, MUC e CNA apresentando-se superiores aos demais na primeira, e acrescidos pelo tratamento MFP na segunda que, por sua vez, não diferiu do tratamento POU e NFO.

A baixa CTC no solo descoberto deve ser atribuída ao efeito pronunciado da erosão hídrica do solo na camada superficial, onde o efeito seletivo desta carregou colóides orgânicos, ao mesmo tempo em que removeu cátions básicos constituintes desta propriedade. Nas Tabelas 5 e 7 observa-se que neste tratamento e nas profundidades superficiais são encontrados os menores valores de matéria orgânica, cálcio + magnésio e potássio, determinando fundamentalmente estes baixos resultados de CTC.

Na Figura 12 é apresentada a relação entre o conteúdo de matéria orgânica do solo (MOS) e a capacidade de troca de cátions efetiva (CTC) nos diferentes sistemas de culturas avaliados. Constata-se que o conteúdo de MOS é estreitamente relacionado à CTC, assim como já fora constatado por Ciotta et al. (2003) em um solo com baixo teor de argila submetido ao SPD por 21 anos. Os autores concluíram ainda que pequenos incrementos no conteúdo de MOS são

suficientes para elevar significativamente os valores de CTC do solo, tanto a efetiva quanto à pH 7,0.

Tabela 8. Capacidade de troca de cátions efetiva (CTC), soma de bases (S) e saturação da CTC a pH 7,0 por bases (V), em um Argissolo Vermelho submetido a diferentes sistemas de culturas, em seis profundidades no perfil do solo

Sistemas de culturas	Profundidade, m					
	0-0,025	0,025-0,05	0,05-0,075	0,075-0,10	0,10-0,15	0,15-0,20
	CTC, cmol _c dm ⁻³					
MFP	7,70 b	5,78ab	5,19ab	5,45ab	4,85ab	4,96ab
SDES	3,72 d	3,78 c	5,02 bc	5,18abc	5,07ab	4,45ab
POU	7,50 bc	5,04 b	4,87 bc	4,38abc	4,09 b	4,03 b
AZEV	9,39a	5,56ab	4,41 bc	4,05 c	4,03 b	3,73 b
MUC	8,85a	6,60a	4,65 bc	4,79abc	4,58ab	3,58ab
CNA	8,70a	6,40a	6,08a	5,64a	5,65a	5,73a
NFO	6,74 c	4,98 b	4,13 c	4,20 bc	3,95 b	3,96 b
	S, cmol _c dm ⁻³					
MFP	7,64 bc	5,56ab	4,67ab	4,97a	4,38ab	4,41ab
SDES	3,39 d	3,20 c	4,45abc	4,33abc	4,00ab	3,19ab
POU	7,47 bc	4,58 bc	4,04abc	3,13 bc	3,02ab	2,85 b
AZEV	9,38a	4,99ab	3,25 c	2,73 c	2,65 b	2,56 b
MUC	8,83ab	6,25a	3,87 bc	3,69abc	3,67ab	3,45ab
CNA	8,50ab	5,90ab	5,37a	4,91ab	4,99a	4,85a
NFO	6,54 c	4,56 bc	3,36 bc	3,27 bc	2,98ab	2,85 b
	V, %					
MFP	71,71 ^{ns}	62,08 ^{ns}	59,35a	59,83a	62,82 ^{ns}	59,79 ^{ns}
SDES	61,54	57,62	61,97a	59,01a	55,55	48,71
POU	71,86	58,94	50,62ab	45,29ab	45,47	42,85
AZEV	74,07	58,21	42,67 b	37,94 b	41,41	39,71
MUC	71,06	65,33	49,72ab	47,10ab	48,88	47,73
CNA	74,46	56,07	59,64a	57,64a	58,67	54,58
NFO	66,02	56,10	48,41ab	51,30ab	46,34	45,40

MFP: Milho + feijão de porco/soja; SDES: Solo descoberto; POU: Milho/pousio/soja/pousio; AZEV: Milho/azevém + ervilhaca/soja/azevém + ervilhaca; MUC: Milho + mucuna/soja; CNA: Campo nativo; NFO: Milho/nabo forrageiro/soja/nabo forrageiro. Médias seguidas pela mesma letra, para a mesma variável e profundidade, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$). ^{ns}Diferenças não significativas.

Os valores mais elevados de CTC foram encontrados nos tratamentos com alguma leguminosa em seu sistema de culturas (MFP, MUC, AZEV) e no campo nativo (CNA), os quais apresentaram também, conforme as Tabelas 5 e 7, os maiores conteúdos de MOS. Estes tratamentos proporcionaram adição de matéria

seca com baixa relação C/N, e o carbono acumulado no solo, com o incremento no período de tempo de adoção dos sistemas, refletiram-se no aumento gradativo do conteúdo de MOS. Jantalia et al. (2003) constataram que a inclusão de leguminosas em sistemas de culturas, em rotação com espécies gramíneas, é fundamental para que ocorra o aumento do conteúdo de carbono orgânico do solo e conseqüentemente no conteúdo de MOS.

A soma de bases (S) apresentada na Tabela 8 mostra grande variabilidade entre os tratamentos e profundidades avaliadas, acompanhando a tendência apresentada pela CTC efetiva. Observa-se novamente a degradação da fertilidade do solo que foi mantido exposto continuamente a ação erosiva da chuva (SDES), com efeito mais pronunciado na camadas superficiais, até 0,05 m. Com relação às maiores médias, novamente os tratamentos que incluíram leguminosas em seu sistema de culturas (MUC, MFP e AZEV) e o campo nativo (CNA) apresentaram os maiores valores, reforçando a importância da diversificação de culturas, do aporte constante de resíduos ao solo e da cobertura da superfície do solo durante o maior tempo possível durante o ano, como foi verificado no solo sob vegetação natural (CNA).

A relação apresentada na Figura 13, entre a soma de bases (V) e o conteúdo de matéria orgânica do solo (MOS) é semelhante à encontrada na Figura 12, ou seja, elevado coeficiente de correlação, o que reforça a importância da MOS na fertilidade e disponibilidade de nutrientes as plantas.

Nascimento et al. (2003) avaliaram o efeito de 12 espécies de leguminosas utilizadas como cobertura do solo e adubação verde, entre elas a mucuna e o feijão de porco, nos atributos de fertilidade do solo, incluindo a MOS, CTC, a soma (S) e a saturação por bases (V), em um Luvisolo. Em comparação, os autores utilizaram um tratamento testemunha, sem cultivo e com vegetação espontânea rala, semelhante a um sistema de pousio. As leguminosas contribuíram para a elevação dos teores de potássio e magnésio até a profundidade de 0,10 m, contribuindo conseqüentemente para o incremento nos valores de CTC, S e V do solo. Conclusões semelhantes foram também obtidas por Peixoto & Eltz (1986) e por Eltz et al. (1989).

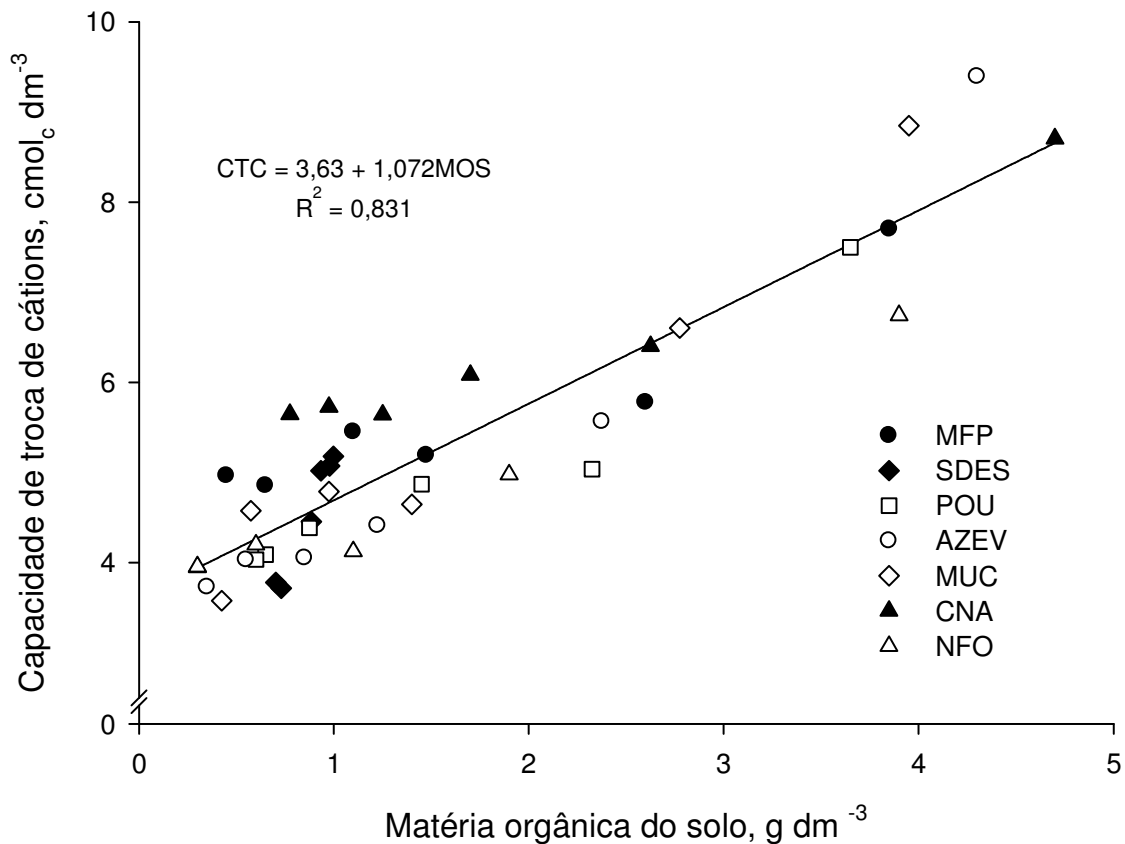


Figura 12. Relação entre matéria orgânica do solo e capacidade de troca de cátions, em seis camadas de um Argissolo Vermelho, submetido a diferentes sistemas de culturas sob plantio direto, em campo nativo e num solo descoberto. (MFP: Milho + feijão de porco/soja; SDES: Solo descoberto; POU: Milho/pousio/soja/pousio; AZEV: Milho/azevém + ervilhaca/soja/azevém + ervilhaca; MUC: Milho + mucuna/soja; CNA: Campo nativo; NFO: Milho/nabo forrageiro/soja/nabo forrageiro).

Com relação aos teores de MOS, os autores constataram que o período de avaliação (três anos) não foi suficiente para que as leguminosas determinassem alterações significativas, em comparação com o tratamento testemunha.

Nos resultados da avaliação de saturação da CTC do solo por bases (V) apresentados na Tabela 8, foram detectadas diferenças significativas entre os tratamentos apenas nas profundidades de 0,05 – 0,075 e 0,075 – 0,10 m, com o resultado do teste estatístico sendo idêntico nestas.

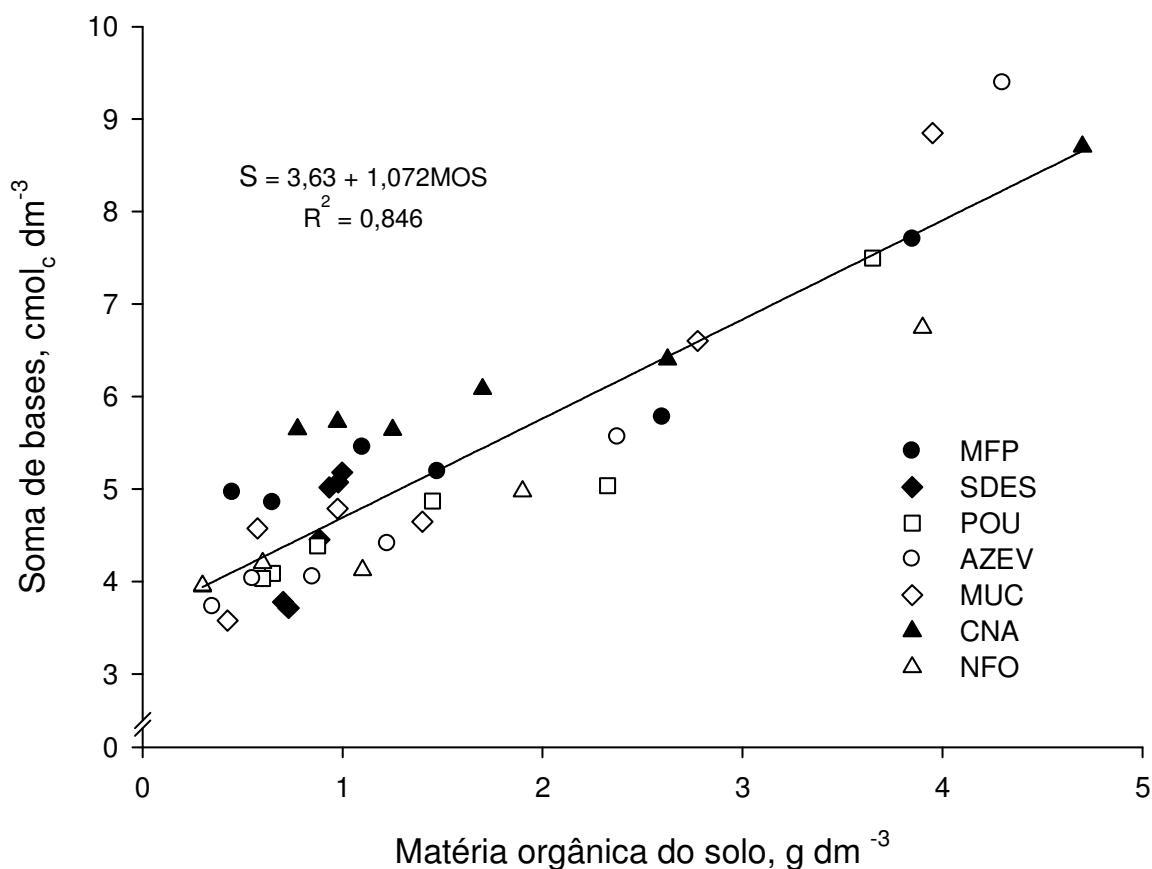


Figura 13. Relação entre matéria orgânica do solo e soma de bases, em seis camadas de um Argissolo Vermelho, submetido a diferentes sistemas de culturas sob plantio direto, em campo nativo e num solo descoberto. (MFP: Milho + feijão de porco/soja; SDES: Solo descoberto; POU: Milho/pousio/soja/pousio; AZEV: Milho/azevém + ervilhaca/soja/azevém + ervilhaca; MUC: Milho + mucuna/soja; CNA: Campo nativo; NFO: Milho/nabo forrageiro/soja/nabo forrageiro).

Destaca-se, nesta avaliação, o tratamento SDES, que apresentou elevadas médias em todas as profundidades. Apesar desta avaliação servir como um indicativo do estado de fertilidade do solo e proporcionar informações sobre a quantidade da CTC do solo ocupada por cátions básicos como o cálcio, magnésio e potássio, importantes para o desenvolvimento de plantas (Tomé Júnior, 1997), cuidados devem ser tomados quanto a sua apreciação isoladamente como um indicador de tomada de decisão, no que diz respeito a aplicação de corretivos ou fertilizantes ao solo, visto que, mesmo apresentando elevado valor de V, os componentes deste índice foram inferiores aos encontrados nos demais tratamentos avaliados (Tabela 4 e Tabela 5).

Pela análise das Figuras 12 e 13, observa-se que o aumento no conteúdo de MOS é extremamente importante para a manutenção de um elevado estado de fertilidade do solo (valores de CTC e S), e pequenos incrementos no seu conteúdo são responsáveis por alterações significativas nos valores destes índices.

2.5 CONCLUSÕES

1. Sistemas de culturas que incluíram leguminosas de inverno e de verão determinaram, após 16 anos de utilização, acréscimos significativos no conteúdo de matéria orgânica do solo, em comparação a um solo mantido descoberto.

2. Solo mantido descoberto acarretou sérios prejuízos quanto aos atributos de fertilidade do solo avaliados, principalmente o conteúdo de matéria orgânica e potássio trocável do solo.

3. A análise apenas do pH do solo não foi suficiente para caracterizar o estado de acidez em que o solo se encontrava, sendo necessário conhecer a concentração dos demais componentes, como o alumínio trocável e os teores de cálcio + magnésio.

4. O efeito residual da aplicação de calcário, antes da implantação do sistema plantio direto, no valor do pH, teor de alumínio e fósforo trocável, ultrapassou 16 anos.

5. Verificou-se uma relação direta entre o valor do pH do solo e o seu teor de matéria orgânica, e uma relação inversa entre o valor do pH e o teor de alumínio trocável, com o incremento na profundidade no solo, para todos os tratamentos avaliados em sistema plantio direto, após 16 anos de adoção.

2.6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGOSTINETTO, D.; FERREIRA, F.B.; STOCH, G.; FERNANDES, F.F. & PINTO, J.J.O. Adaptação de espécies utilizadas para cobertura de solo no sul do Rio Grande do Sul. Rev. Bras. Agrobiologia, 6:47-52, 2000.

AITA, C. & GIACOMINI, S.J. Plantas de cobertura de solo em sistemas agrícolas. In: Manejo de sistemas agrícolas: impacto no seqüestro de C e nas emissões de gases de efeito estufa. Bruno Alves et al...(Eds) – Porto Alegre: Gênese, 2006. 216 p.

ALEXANDER, M. Decomposition de la matéria orgânica. In: Introducción a la microbiología del suelo. México, AGT, 1980, p. 142 – 152, cap. 9.

ALVARENGA, D.A. Efeitos de diferentes sistemas de semeadura na consorciação milho-soja. Lavras, Universidade Federal de Lavras, MG. 1995, 46p. (Dissertação de Mestrado).

AMADO, T.J.C.; BAYER, C.; ELTZ, F.L.F. & BRUM, A.C.R. Potencial de plantas de cobertura em acumular carbono e nitrogênio no solo no plantio direto e a melhoria da qualidade ambiental. R. Bras. Ci. Solo. 25, 189-197, 2001.

AZEVEDO, A.C.; KAMPF, N. & BOHNEN, H. Alterações na dinâmica evolutiva de Latossolo bruno pela calagem. R. Bras. Ci. Solo, 20:191-198, 1996.

BAYER, C. & BERTOL, I. Características químicas de um Cambissolo Húmico afetadas por sistemas de preparo, com ênfase à matéria orgânica. R. Bras. Ci. Solo. 23:687-694, 1999.

BAYER, C. & MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: Fundamentos da Matéria Orgânica do Solo: ecossistemas tropicais e subtropicais. Gabriel de Araújo Santos (Ed.) et al...2ª ed. rev. e atual. – Porto Alegre: Metrópole, 2008.

BAYER, C. & MIELNICZUK, J. Características químicas do solo afetadas por métodos de preparo e sistemas de culturas. R. Bras. Ci. Solo. 21:105-112, 1997.

BAYER, C.; MARTIN NETO, L.; MIELNICZUK, J.; PAVINATO, A. & DIECKOW, J. Carbon sequestration in two Brazilian Cerrado soils under no-till. Soil Till. Res., 86:237-245, 2006a.

BAYER, C.; LOVATO, T.; DIECKOW, J.; ZANATTA, J.A. & MIELNICZUK, J. A method for estimating coefficients of soil organic matter dynamics based on long-term experiments. Soil Till. Res., 91:217-236, 2006b.

BORKERT, C.M.; GAUDÊNCIO, J.E.; PEREIRA, L.R. & OLIVEIRA JÚNIOR, A. Nutrientes minerais na biomassa da parte aérea em culturas de cobertura de solo. *Pesq. Agropec. Bras.*, 38:143-153, 2003.

CALEGARI, A. O uso de plantas de cobertura e a rotação de culturas visando alto rendimento. In: IV CURSO SOBRE ASPECTOS BÁSICOS DE FERTILIDADE DE SOLO EM PLANTIO DIRETO. 4, 2001. Ijuí. Resumos de palestras... Passo Fundo:Aldeia Norte, 2001. p. 5-20.

CAMEL, S.B.; REYES-SOLIS, M.G.; FERRERA-CERRATO, R. et al. Growth of vesicular-arbuscular mycorrhizal mycelium through bulk soil. *Soil Sci. Soc. Am. J. Madison*, 35:389-393, 1991.

CASTRO, O.M.; PRADO, H.; SEVERO, A.C.R. & CARDOSO, E.J.B.N. Avaliação da atividade de microrganismos em diferentes sistemas de manejo de soja. *Sci. Agric.* 50:212-219, 1993.

CHUEIRI, W.A.; VASCONCELLOS, H.P. Dinâmica de nutrientes no plantio direto. In: ENCONTRO NACIONAL DE PLANTIO DIRETO NA PALHA – harmonia do homem com a natureza, desafio do 3º milênio, 7., 2000, Foz do Iguaçu. Resumos... Foz do Iguaçu: Federação Brasileira de Plantio Direto na Palha 2000. p.129-130.

CIOTTA, M.N.; BAYER, C.; FONTOURA, S.M.V.; ERNANI, P.R. & ALBUQUERQUE, J.A. Matéria orgânica e capacidade de troca de cátions em solo com argila de atividade baixa sob plantio direto. *Ci.Rural*, 33:1161-1164, 2003.

COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO – CFS RS/SC. Manual de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. 10.ed. Porto Alegre, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo – Núcleo Regional Sul; EMBRAPA/CNPQ, 2004. 400p.

CORREA, J.C.; MAUAD, M. & ROSOLEM, C.A. Fósforo no solo e desenvolvimento de soja influenciados pela adubação fosfatada e cobertura vegetal. *Pesq. Agropec. Bras.*, 39:1231-1237, 2004.

CRUZ, A.C.R.; PAULETTO, E.A.; FLORES, C.A. & SILVA, J.B. Atributos físicos e carbono orgânico de um Argissolo Vermelho sob sistemas de manejo. *R. Bras. Ci. Solo*, 27:1105-1112, 2003.

DA ROS, C.O. Plantas de inverno para cobertura do solo e fornecimento de nitrogênio ao milho em plantio direto. Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, 1993. 85p. (Dissertação de Mestrado).

DEBARBA, L. Sistemas de produção de milho adaptados à conservação do solo. Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, 1993. 150 p. (Dissertação de Mestrado).

DEBARBA, L. & AMADO, T.J.C. Desenvolvimento de sistemas de produção de milho no sul do Brasil com características de sustentabilidade. R. Bras. Ci. Solo, 21:473-480, 1997.

DERPSCH, R. et al. Manejo do solo com coberturas verdes de inverno. Pesq. Agropec. Bras., 20:761-773. 1985.

ELTZ, F.L.F.; PEIXOTO, R.T.G. & JASTER, F. Efeitos de sistemas de preparo do solo nas propriedades físicas e químicas de um Latossolo Bruno álico. R. Bras. Ci. Solo, 27:1097-1104, 1989.

FALLEIRO, R.M.; SOUZA, C.M.; SILVA, C.S.W.; SEDIYAMA, C.S.; SILVA, A.A. & FAGUNDES, J.L. Influência dos sistemas de preparo nas propriedades químicas e físicas do solo. Bras. Ci. Solo. 27:1097-1104, 2003.

FERREIRA, F.P.; AZEVEDO, A.C.; DALMOLIN, R.S.D. & GIRELLI, D. Carbono orgânico, óxidos de ferro e distribuição de agregados em dois solos derivados de basalto no Rio Grande do Sul – Brasil. Ci. Rural. 37:381-388. 2007.

FOLONI, J.S.S. & ROSOLEM, C.A. Produtividade e acúmulo de potássio na soja em função da antecipação da adubação potássica no sistema plantio direto. R. Bras. Ci. Solo. 32:1549-1561, 2008.

FRANCHINI, J.C.; BORKERT, C.M.; FERREIRA, M.M. & GAUDÊNCIO, C.A. Alterações na fertilidade do solo em sistemas de rotação de culturas em plantio direto. R. Bras. Ci. Solo. 24:459-467, 2000.

GIACOMINI, S.F.; AITA, C.; HUBNER, A.P.; LUNKES, A.; GUIDINI, E. & AMARAL, E.B. Liberação de fósforo e potássio durante a decomposição de resíduos culturais em plantio direto. Pesq. Agropec. Bras., 38:1097-1104. 2003.

JANTALIA, C.P.; SANTOS, H.P.; DENARDIN, J.E.; KOCHHANN, R.; ALVES, B.J.R.; URQUIAGA, S. & BODDEY, R.M. Influência de rotações de culturas no estoque de carbono e nitrogênio do solo sob plantio direto e preparo convencional. *Agronomia*, 37:91-97, 2003.

KAMINSKI, J.; SANTOS, D.R.; GATIBONI, L.C.; BRUNETTO, G. & SILVA, L.S. Eficiência da calagem superficial e incorporada precedendo o sistema plantio direto em um Argissolo sob pastagem natural. *R. Bras. Ci. Solo*, 29:573-580, 2005.

KAMINSKI, J.; RHEINHEIMER, D.S.; SANTOS, E.J.S.; GATIBONI, L.C.; BORTOLUZZI, E.C. & XAVIER, F.M. Resposta de culturas à aplicação de calcário em superfície ou incorporado ao solo em campo nativo. *Ci. Rural*, 30:605-609, 2000.

LOVATO, T.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C. & VEZZANI, F. Adição de carbono e nitrogênio e sua relação com os estoques no solo e com o rendimento do milho em sistemas de manejo. *R. Bras. Ci. Solo*. 28:175-187, 2004.

MIELNICZUK, J. Matéria Orgânica e a sustentabilidade de sistemas agrícolas. In: SANTOS, G.A.; CAMARGO, F.A.O. (Ed.). *Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais*. Porto Alegre: Gênese, 1999. p. 1-9.

MUZILLI, O. Influência do sistema de plantio direto, comparado ao convencional, sobre a fertilidade da camada arável do solo. *R. Bras. Ci. Solo*, 7:95-102, 1983.

NASCIMENTO, J.T.; SILVA, I.F.; SANTIAGO, R.D. & SILVA NETO, L.F. Efeito de leguminosas nas características químicas e matéria orgânica de um solo degradado. *R. Bras. Eng. Agric. Ambiental*, 7:457-462, 2003.

NETTO, A.A.; FERNANDES, E.J. & CENTURION, J.F. Propriedades físicas e indicador de qualidade de um Latossolo Vermelho submetido a diferentes sistemas de uso e manejo. *Irriga*, 12:27-37, 2007.

NEVES, L.S.; ERNANI, P.R. & SIMONETE, M.A. Mobilidade de potássio em solos decorrente da adição de doses de cloreto de potássio. *R. Bras. Ci. Solo*. 33:25-32, 2009.

NICOLODI, M.; ANGHINONI, I. & GIANELLO, C. Indicadores da acidez do solo para recomendação de calagem no sistema plantio direto. *R. Bras. Ci. Solo*. 32:237-247, 2008.

NICOLOSO, R.S; AMADO, T.J.C.; LOVATO, T.; SCHNEIDER, S.; LANZANOVA, M. E.; ROSSATO, R. R.; BRAGAGNOLO, J.; GIRARDELLO, V.; GIRARDELLO, R. Nabo forrageiro: alternativa de ciclagem de nutrientes e escarificação biológica do solo. *Revista Plantio Direto*, 104:28-38, 2008.(a).

NICOLOSO, R. S.; AMADO, T.J.C.; SCHNEIDER, S.; LANZANOVA, M.E.; GIRARDELLO, V. & BRAGAGNOLO, J. Eficiência da escarificação mecânica e biológica na melhoria dos atributos físicos de um Latossolo muito argiloso e no incremento do rendimento da soja. *R. Bras. Ci. Solo*. 32:1723-1734, 2008.(b).

NICOLOSO, R.S.; LOVATO, T.; AMADO, T.J.C.; BAYER, C. & LANZANOVA, M.E. Balanço de carbono orgânico no solo sob integração lavoura-pecuária no sul do Brasil. *R. Bras. Ci. Solo*. 32:2425-2433, 2008c.

PAIVA, P.J.R.; VALE, F.R.; FURTINI NETO, A.E. & FAQUIN, V. Acidificação de um Latossolo Roxo do Estado do Paraná sob diferentes sistemas de manejo. *R. Bras. Ci. Solo*. 20:71-75, 1996.

PEIXOTO, R.T.G. & ELTZ, F.L.F. Avaliação da fertilidade do solo em plantio direto na região dos Campos Gerais, Paraná. In: *Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo*, 17. Londrina, PR. 1986. Resumo...Londrina: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, EMBRAPA e IAPAR, 1986. p.56-57.

PERIN, A; BERNARDO, J.T.; SANTOS, R.H.S. & FREITAS, G.B. Desempenho agrônomico de milho consorciado com feijão de porco em duas épocas de cultivo no sistema orgânico de produção. *Cienc. Agrotec.*, 31:903-908, 2007.

PESSOA, A.C.S.; CAMPOS, B.C.; ANTONIOLLI, Z.I. et al. Efeito de fungos MVA nativos e introduzidos no rendimento de cornichão. *Ci. Rural*, 24:41-47, 1994.

ROSSATO, R.R. Potencial de ciclagem de nitrogênio e potássio pelo nabo forrageiro intercalar ao culturas do milho e trigo sob plantio direto. Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, 2004. 106p. (Dissertação de Mestrado).

SÁ, J. C.M. Evolução da matéria orgânica do solo no sistema Plantio Direto. In: *IV CURSO SOBRE ASPECTOS BÁSICOS DE FERTILIDADE DE SOLO EM PLANTIO DIRETO*. 4, 2001. Ijuí. Resumos de palestras... Passo Fundo:Aldeia Norte, 2001. p. 5-20.

SANTOS, H.P.; FONTANELI, R.S.; TOMM, G.O. & SPERA, S.T. Efeito de sistemas de produção mistos sob plantio direto sobre fertilidade do solo após oito anos. R. Bras. Ci. Solo, 27: 545-552, 2003.

SANTOS, H.P. & TOMM, G.O. Estudos da fertilidade do solo sob quatro sistemas de rotação de culturas envolvendo trigo em plantio direto. R. Bras. Ci. Solo, 20: 407-414, 1996.

SAS INSTITUTE. Statistical Analysis System Institute – SAS/STAT Procedure guide for personal computers. Version 5, SAS Inst. Cary, NC. 1991.

SEGANFREDO, M.L. Sistemas de culturas adaptados à produtividade e a conservação do solo. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Santa Maria, 1995. 95 p.

SEGANFREDO, M.L.; ELTZ, F.L.F. & BRUM, A.C.R. Perdas de solo, água e nutrientes por erosão em sistemas de culturas em plantio direto. R. Bras. Ci. Solo, 21: 287-291, 1997.

SIDIRAS, N. & PAVAN, M.A. Influência do sistema de manejo do solo no seu nível de fertilidade. R. Bras. Ci. Solo, 9: 249-254, 1985.

TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A. et al. Análise de solo, plantas e outros minerais. 2.ed. Porto Alegre: UFRGS, 1995. 174 p.

TOMÉ JUNIOR, B. Manual para interpretação de análise de solo. Guaíba: Agropecuária, 1997. 247p.

VALLADARES, G.S.; PEREIRA, M.G. & ANJOS, L.H.C. Adsorção de fósforo em solos de argila de baixa atividade. Bragantia, 62:111-118, 2003.

VEZZANI, F.; CONCEIÇÃO, P.C.; MELLO, N.A. & DIECKOW, J. Matéria orgânica e qualidade do solo. In: Fundamentos da Matéria Orgânica do Solo: ecossistemas tropicais e subtropicais. Gabriel de Araújo Santos (Ed.) et al...2ª ed. rev. e atual. – Porto Alegre: Metrópole, 2008.

3 CAPÍTULO III

RENDIMENTO DE GRÃOS, MATÉRIA SECA, CARBONO E NITROGÊNIO EM DIFERENTES SISTEMAS DE CULTURAS SOB PLANTIO DIRETO POR LONGO PERÍODO

3.1 RESUMO

Depois de transcorridos alguns anos de sua adoção, variando em função do tipo de solo e condições climáticas locais, o sistema plantio direto proporciona melhores condições ao crescimento e desenvolvimento das culturas agrícolas do que outros sistemas de manejo do solo, refletindo em maior produtividade de grãos e rendimento das culturas. A camada de palha que se forma é responsável pela diminuição da temperatura na superfície do solo, e funciona também como um sistema de amortecimento às pressões exercidas, seja pelo maquinário agrícola, seja por pisoteio animal ou qualquer outra forma de compactação. Há um efeito significativo na conservação do teor de água no solo, e a fauna edáfica encontra um ambiente favorável ao seu desenvolvimento. Dessa maneira, o presente trabalho teve por objetivos verificar o efeito do sistema plantio direto na produtividade de grãos de milho, na produção de matéria seca, no estoque de carbono orgânico e nitrogênio do solo, em diferentes sistemas de culturas com utilização de adubos verdes de inverno e verão. O experimento teve início no ano de 1991, e utiliza como tratamentos, desde 2001, os seguintes sistemas de culturas: (1) Milho (*Zea mays L.*) + feijão de porco (*Canavalia ensiformis DC*)/soja (*Glycine max (L.) Merr.*) (MFP); (2) Solo permanentemente descoberto (SDES); (3) Milho/pousio/soja/pousio (POU); (4) Milho/azevém (*Lolium multiflorum Lam.*) + ervilhaca comum (*Vicia sativa*)/soja/azevém + ervilhaca comum (AZEV); (5) Milho + mucuna cinza (*Stizolobium cinereum*)/soja (MUC); (6) Campo nativo (CNA); e (7) Milho/nabo forrageiro (*Raphanus sativus L. var. oleiferus Metzg.*)/soja/nabo forrageiro (NFO). Os resultados obtidos apontaram que o sistema plantio direto com utilização de adubos verdes de verão e inverno, após 16 anos, proporcionou maiores rendimentos de grãos de milho do que o sistema que utilizou pousio invernal. O cultivo do solo a partir de um campo nativo determinou perdas no conteúdo de carbono orgânico, porém, este foi possível de ser recuperado com a utilização de sistema plantio direto com elevado aporte de resíduos vegetais ricos em carbono e nitrogênio. A manutenção da superfície do solo exposta aos agentes erosivos por longo período, provocou perdas significativas em seu conteúdo de carbono e nitrogênio total.

O sistema plantio direto com utilização de adubos verdes de verão (mucuna) e de inverno (azevém+ervilhaca) promoveu incrementos no estoque de carbono orgânico total do solo na camada superficial, de 0,0 – 0,05 m, em relação a seu estoque inicial. Contudo, na camada de 0,0 – 0,20 m de profundidade, nenhum sistema de culturas alcançou os valores encontrados no tratamento referência, no caso, o campo nativo.

3.2 INTRODUÇÃO

A agricultura brasileira passou por mudanças significativas quanto à operação de preparo de solo, a partir do final da década de 1980 e início da década de 1990, sendo que, a partir daí, o sistema de plantio direto (SPD) foi manejo do solo que mais cresceu em termos de área de adoção (FEBRAPDP, 2004). A pesquisa e informações sobre o SPD eram ainda escassas naquele momento, e experimentos de longa duração que buscavam informações sobre o tema eram ainda poucos e de extrapolação limitada.

Alguns problemas surgiram praticamente juntos com a adoção do SPD, entre eles a compactação da camada superficial do solo (Corsini & Ferraudo, 1999), a infestação por ervas daninhas e a falta de herbicidas eficientes no controle, surgimento de pragas que anteriormente eram pouco expressivas, e a baixa eficiência das semeadoras que, em grande parte, eram adaptadas a partir das utilizadas no sistema de preparo convencional (SPC) (Denardin et al., 2005). Nos primeiros anos da implantação do SPD, a produtividade das culturas era semelhante ou até inferior ao SPC (Pauletti et al., 2003; Yusuf et al., 1999), fato que levou agricultores imediatistas a retornar ao sistema de preparo do solo com revolvimento e mobilização da camada superficial.

O adensamento da camada superficial, dificultando a penetração das raízes e o pequeno acúmulo de resíduos vegetais, refletido em condições inferiores de umidade, temperatura, densidade e porosidade do solo (Bertol et al., 2001), são também verificados neste contexto. Após alguns anos de adoção, variando em função do tipo de solo e condições climáticas locais, o SPD proporciona melhores condições ao desenvolvimento das culturas do que o sistema convencional de preparo, refletindo em maior produtividade de grãos e rendimento das culturas

(Ismail et al., 1994; Petrere et al., 1996). A camada de palha que se forma é responsável pela diminuição da temperatura do solo na camada superficial, e mesmo em condições de frio ou calor excessivo, as sementes e plantas conseguem germinar e se desenvolver normalmente (Silva et al., 2006a). Essa camada de palha funciona também como um sistema de amortecimento de pressões exercidas no solo, seja pelo maquinário agrícola utilizado nas operações diversas, seja por pisoteio animal ou qualquer outra forma de compactação (Lanzanova, 2005).

Há um efeito significativo na conservação do teor de água no solo, devido ao fato de não haver radiação solar direta atingindo os agregados do solo, evitando a evaporação constante da água do solo (Eltz & Rovedder, 2005). Nessas condições, a fauna edáfica encontra um ambiente totalmente favorável ao seu desenvolvimento e, com quantidade expressiva de alimento, decompõe a palha e libera os nutrientes nela contidos para o solo e plantas.

As raízes das plantas, após completarem seu ciclo, decompõem-se e deixam em seu lugar canais ou poros biológicos, aumentando a macroporosidade do solo que é o caminho preferencial para a infiltração de água (Dunn & Phillips, 1991; Sobrinho et al., 2003). Dessa maneira, tanto a infiltração de água como a sua retenção e armazenamento, são favorecidas, beneficiando as plantas ali cultivadas. Após alguns anos de manejo adequado, o sistema gradativamente faz com que os benefícios sejam notados nos índices de produtividade das culturas.

Sistemas de culturas em SPD, onde as principais produtoras de grãos são a soja e o milho, em rotação, apresentam melhor desempenho quanto melhor e maior for o aporte de resíduos por outras culturas intercalares (Jantalia et al., 2006; Silva et al., 2007). Assim, no Rio Grande do Sul, onde ocorrem inverno e verão bem definidos, algumas espécies adquirem fundamental importância em na rotação, entre elas o azevém, aveia preta, ervilhaca e o nabo forrageiro, no inverno, e feijão de porco e mucuna no verão. Essas culturas, além de proporcionarem cobertura do solo em época crítica, exercem efeito benéfico pelo diferenciado sistema radicular e constituição de seus resíduos. A ervilhaca tem alta capacidade de fixar nitrogênio (N), podendo chegar a 47 kg ha⁻¹ de N por tonelada de matéria seca produzida (Borkert et al., 2003), enquanto o nabo forrageiro pode reciclar até 135 kg ha⁻¹ de N (Derpsch et al., 1985) e 190 kg ha⁻¹ de potássio (K) (Nicoloso et al., 2008a), além de ser uma planta eficiente no rompimento de camadas compactadas de solo (Nicoloso et al., 2008b). Beneficiárias diretas, as culturas subseqüentes aproveitam boa parte

desses nutrientes aportados, aumentando sua produtividade, diminuindo os custos de produção com fertilizantes industrializados e incrementando a receita líquida com o sistema de produção (Amado et al., 2000; Gonçalves et al., 2000; Spagnollo et al., 2001).

A necessidade de N mineral via adubação química, na cultura do milho, diminui consideravelmente quando se cultiva ervilhaca, ou outra leguminosa como cultura antecessora. Mesmo cultivando em consórcio com uma espécie gramínea, a ervilhaca fornece considerável quantidade de N ao sistema, podendo ser reduzida de 20 a 40% a quantidade de adubo nitrogenado, quando cultivada consorciada e quando cultivada isolada, respectivamente, ainda dependendo da expectativa de rendimento de grãos esperada, da produção de biomassa e do teor de matéria orgânica do solo (CFS, 2004).

O feijão de porco e a mucuna, semeadas nas entrelinhas da cultura do milho, são espécies que exercem importância como culturas de cobertura do solo, são leguminosas com baixa relação C/N e liberam N ao solo (Nascimento & Silva, 2004), potencializando o aumento de produtividade das culturas cultivadas em seqüência, principalmente gramíneas. Além de não exercerem efeito competitivo com a cultura principal, no caso a cultura do milho, mesmo após a colheita de grãos, os resíduos da cultura permanecem por um longo período de tempo na superfície do solo, contribuindo para a redução da erosão hídrica, diminuindo as perdas de solo e água do sistema (Debarba, 1993; Seganfredo, 1995).

Além no N deixado pela leguminosa, e da ciclagem ou reciclagem do potássio realizado pelo nabo forrageiro, o aporte de carbono deixado pelas culturas consideradas adubos verdes favorece a agregação do solo, contribui para o incremento no conteúdo de matéria orgânica. Silva et al. (2006b), avaliando um Argissolo Vermelho de textura média, encontraram maior adição de carbono orgânico ao solo e melhor estado de agregação numa sucessão ervilhaca-milho sob SPD, em comparação com outros métodos de preparo de solo.

Lovato et al. (2004) avaliaram três sistemas de manejo do solo (convencional, reduzido e plantio direto), em três sistemas de culturas (aveia/milho, ervilhaca/milho, e aveia+ervilhaca/milho+caupi), submetidos a duas doses de adubação nitrogenada, num Argissolo Vermelho degradado por cultivo inadequado durante 16 anos. Em relação aos sistemas de culturas, verificaram que as leguminosas contribuíram para a maior adição anual de carbono e nitrogênio,

variando de 4,17 a 8,39 Mg ha⁻¹ e -21 a 178 kg ha⁻¹, respectivamente. Quanto aos sistemas de manejo do solo, o plantio direto apresentou as maiores adições de carbono e nitrogênio, refletindo-se no maior acúmulo de carbono orgânico total e nitrogênio total na camada de 0,0 - 0,175 m do solo.

Assim como ocorre em solo descoberto, a manutenção de áreas de lavoura em pousio no período de inverno, no Rio Grande do Sul, pode acarretar prejuízos advindos da erosão, bem como pode determinar condições inferiores para a implantação da próxima cultura de verão, pela pouca presença de resíduos vegetais na superfície do solo, afetando a temperatura, umidade, e fauna edáfica do solo. Silva & Rosolem (2001) encontraram efeito negativo significativo do pousio na nutrição da soja, com menor acúmulo de N, K, Ca, Mg e S na parte aérea das plantas, em comparação com as plantas cultivadas após espécies de cobertura de solo, como a aveia-preta, mucuna preta e milheto. Os autores concluíram também, no mesmo trabalho, que a manutenção da área em pousio não reduz o efeito da compactação do solo na cultura da soja.

O presente trabalho teve por objetivos verificar o efeito do sistema plantio direto após longo período de adoção, na produtividade de grãos de milho, produção de matéria seca, carbono e nitrogênio do solo em diferentes sistemas de culturas com utilização de adubos verdes de inverno e verão.

3.3 MATERIAL E MÉTODOS

O procedimento adotado para a coleta de material vegetal para posterior determinação da produção de matéria seca pelos diferentes tratamentos obedeceu ao critério do ciclo de desenvolvimento de cada planta, ou seja, quando o mesmo encontrava-se na fase de pleno desenvolvimento reprodutivo (ou pleno florescimento) das plantas, o que ocorreu normalmente no mês de agosto de cada ano de condução do experimento. Em 2006, 2007 e 2008, as coletas foram realizadas nos dias 04, 31 e 24 de agosto, respectivamente, coincidindo com o período de pleno florescimento das culturas de inverno (nabo forrageiro e ervilhaca), sendo coletadas aleatoriamente quatro amostras de material vegetal em cada

tratamento. Para fazer a coleta utilizou-se um quadro de ferro de 1 m² de área, e uma tesoura de tosquiador para fazer o corte das plantas. Após coletadas, as amostras foram acondicionadas em sacos semipermeáveis e alocadas em estufa de ventilação forçada, a uma temperatura constante de 65°C, até que atingissem massa constante.

Pela mesma metodologia foi determinada a produção de matéria seca das culturas de verão. Em 2007, no dia 13 de março, foi realizada a coleta de amostras na cultura da soja. Em 2008, a coleta foi realizada na cultura do milho, no dia 31 de janeiro. Nos adubos verdes feijão de porco e mucuna, neste ano, a coleta das amostras foi realizada no dia 17 de março.

A colheita de grãos de soja e milho foi realizada manualmente no momento em que se atingiu a completa maturação fisiológica dos grãos, e ocorreu, em 2007 e 2008, nos dias 20 de abril e 31 de março, para a soja e milho, respectivamente. A estimativa da produtividade de cada cultura foi realizada através da coleta aleatória de quatro amostras por tratamento, sendo cada uma correspondente a três metros lineares de plantas. Os valores de rendimento obtidos foram corrigidos, em todos os anos, para umidade de 13% nos grãos.

Aproximadamente 16 anos após a instalação do experimento, mais precisamente no mês de maio de 2007, foram coletadas 20 subamostras de solo, aleatoriamente dentro de cada parcela experimental, em cada tratamento, com trado calador, nas profundidades de 0,0 – 0,025 m, 0,025 – 0,05 m, 0,05 – 0,075 m, 0,075 – 0,10 m, 0,10 – 0,15 m, e 0,15 – 0,20 m, para avaliação do teor de carbono orgânico total do solo, através do equipamento Analisador Elementar modelo FlashEA1112. Para melhor detalhar o perfil do solo, a camada superficial de 0,0 – 0,10 m foi dividida em frações de 0,025 m de espessura, e a camada de 0,10 – 0,20 m em frações de 0,05 m. A camada superficial não sofria revolvimento e recebia os resíduos vegetais após cada safra ou culturas, enquanto a camada subsuperficial era submetida aos diferentes tipos e quantidades de raízes das plantas constituintes dos sistemas de culturas estudados. Foram computados, além dos dados obtidos nos anos de 2006, 2007 e 2008, os apresentados em Debarba (1993), Seganfredo (1995) e nos demais anos de condução do experimento, para fins de estimativa das adições, perdas e estoque de carbono no solo.

Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância, análise de regressão simples e as médias comparadas pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade, utilizando o pacote estatístico SAS (Statistics Analyse Systems, 1991).

3.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.4.1 Rendimento de grãos de milho

A Tabela 9 e a Figura 14 apresentam os resultados de rendimento de grãos de milho obtidos em onze safras agrícolas, durante a execução do experimento, nos tratamentos estudados. Observa-se uma variação muito grande na produtividade de grãos em cada safra agrícola, em todos os tratamentos.

Tabela 9. Rendimento de grãos de milho em onze safras agrícolas, cultivado em plantio direto num Argissolo Vermelho de textura franco-arenosa no município de Santa Maria – RS

Ano	Tratamento				
	MFP	POU	AZEV	MUC	NFO
Rendimento de grãos de milho, kg ha ⁻¹				
1992	4790	4270	5390	4630	4610
1993	3321	4797	2791	3633	3423
1994	6021	5276	6619	5749	5247
1996	3502	2979	3967	3617	4060
1998	7238	5265	6501	8274	6546
1999	5291	2634	3481	4416	3062
2000	4515	3086	4934	4604	4528
2001	7904	5893	7518	7556	7720
2003	5815	3067	4040	4336	3370
2005	1019	928	1047	1001	785
2007	11423	9018	12926	12122	10744
Média	5531	4292	5383	5449	4918
Total	60839	47213	59214	59938	54095

MFP: Milho + feijão de porco/soja; POU: Milho/pousio/soja/pousio; AZEV: Milho/azevém + ervilhaca/soja/azevém + ervilhaca; MUC: Milho + mucuna/soja; NFO: Milho/nabo forrageiro/soja/nabo forrageiro

A análise isolada de cada safra agrícola revelou diferenças no rendimento de grãos entre os tratamentos, como verificado na Figura 15, ao passo que assumindo cada safra como uma repetição, não houve diferença estatística significativa entre os sistemas de culturas avaliados. Porém, levando em consideração a produtividade média de cada sistema de culturas (Tabela 9), a produção de 1239, 1091 e 1157 kg a mais de grãos de milho nos sistemas de culturas MFP, AZEV e MUC, respectivamente, em relação ao sistema POU, pode determinar maior margem de lucro ao produtor, reduzindo seus custos fixos com máquinas, instalações, mão de obra e depreciações.

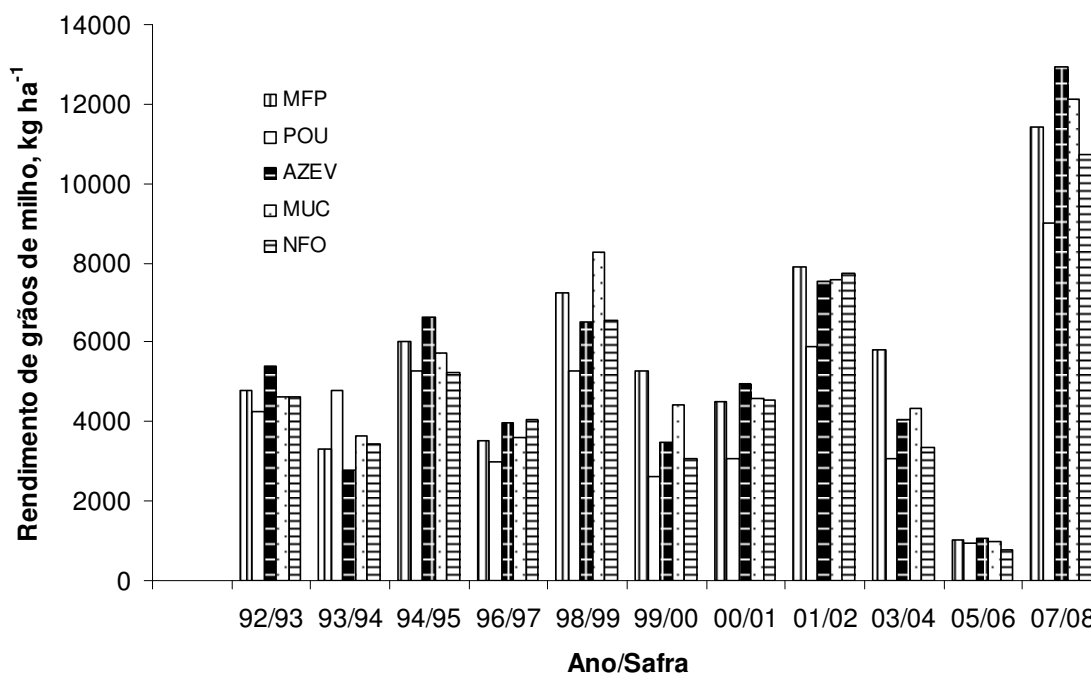


Figura 14. Rendimento de grãos de milho em onze safras agrícolas, cultivado em diferentes sistemas de culturas sob plantio direto, em um Argissolo Vermelho de textura franco-arenosa no município de Santa Maria – RS. (MFP: Milho + feijão de porco/soja; POU: Milho/pousio/soja/pousio; AZEV: Milho/azevém + ervilhaca/soja/azevém + ervilhaca; MUC: Milho + mucuna/soja; NFO: Milho/nabo forrageiro/soja/nabo forrageiro).

Verifica-se que a inclusão de leguminosas intercalares (ervilhaca) ou consorciadas (feijão de porco e mucuna) à cultura do milho exerceu influência direta e positiva na produção de grãos da gramínea, assemelhando-se ao apresentado no

sistema que incluiu o nabo forrageiro (NFO). O sistema que permanece em pousio no inverno apresentou redução na produtividade de grãos de milho, em relação ao verificado nos sistemas AZEV e MUC, porém não diferiu estatisticamente do que foi constatado nos sistemas NFO e MFP (Figura 15).

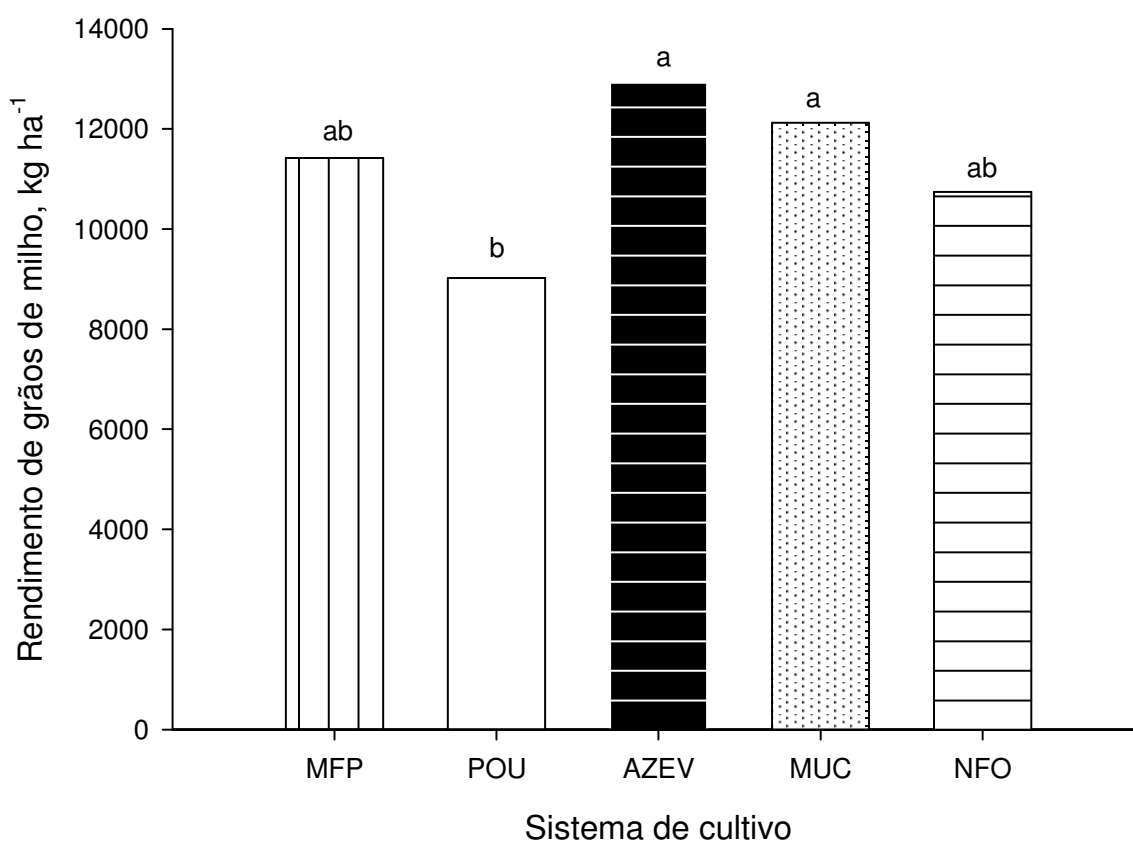


Figura 15. Rendimento de grãos de milho na safra agrícola 2006/2007, cultivado em diferentes sistemas de culturas sob plantio direto, em um Argissolo Vermelho de textura franco-arenosa no município de Santa Maria – RS. (MFP: Milho + feijão de porco/soja; POU: Milho/pousio/soja/pousio; AZEV: Milho/azevém + ervilhaca/soja/azevém + ervilhaca; MUC: Milho + mucuna/soja; NFO: Milho/nabo forrageiro/soja/nabo forrageiro).

Maiores rendimentos de grãos de milho são esperados quando seu cultivo ocorre após espécies que possuem baixa relação C/N, como as leguminosas em geral, devido ao fato destas apresentarem rápida taxa de decomposição de seus

resíduos e imediata liberação de nutrientes ao solo, em especial o nitrogênio (Ceretta et al., 1994).

Carvalho et al. (2004), comparando a produtividade de grãos de milho cultivado em sucessão a diferentes adubos verdes (mucuna, guandu, milheto e crotalária) com a produtividade do sistema que preconizou o pousio antecedendo a cultura do milho, encontraram incremento de 18% no rendimento de grãos após a cultura da crotalária.

No presente estudo, na safra 2006/2007, a diferença entre o sistema que obteve a maior produtividade (AZEV) em relação ao sistema de menor produtividade (POU) foi de aproximadamente 30%, favorecendo o uso das culturas de cobertura de inverno antecedendo o milho, em especial leguminosas e suas consorciações.

Ainda na tabela 9, que mostra o rendimento de grãos de milho acumulado proporcionado pelos sistemas de culturas avaliados, observa-se que a diferença de produtividade obtida a cada ano, em cada tratamento, pode significar uma rentabilidade considerável no somatório das safras.

O cultivo de feijão de porco nas entrelinhas da cultura do milho (MFP) foi o sistema que mais produziu, proporcionando um rendimento de grãos acumulado de 60839 kg ha⁻¹. O sistema de menor produção total de grãos ao fim de onze safras agrícolas foi o que utilizou o pousio no outono/inverno (POU), com um valor de 47213 kg ha⁻¹. Comparando os dois extremos de produção, encontra-se uma diferença de 13626 kg ha⁻¹, ou 227,1 sacas de 60 kg por hectare, ou, pelo valor médio da saca (R\$ 22,74) no Estado do Rio Grande do Sul no último ano, R\$ 5.175,00 (Conab, 2008). Levando em consideração a produtividade média de grãos de milho no RS, de aproximadamente 50 sacas por hectare (SEPLAG-RS, 2008), a diferença entre os sistemas de culturas MFP e POU equivale à colheita de 4 safras de grãos, em favor do sistema MFP. O montante encontrado pode ser de extrema importância para pequenas propriedades, que cultivam poucos hectares, e que dependem fundamentalmente dessa produção tanto para sua própria subsistência quanto para alimentação animal ou venda direta. Os sistemas de culturas com plantas de cobertura de inverno (AZEV) e o que cultivou mucuna nas entrelinhas do milho (MUC) produziram, ao fim de onze safras, as quantias de 59214 e 59938 kg ha⁻¹, respectivamente, sendo também importantes para uma propriedade rural em termos de rendimentos em longo prazo.

Leal et al. (2005) avaliaram o efeito de plantas de cobertura do solo e da prática do pousio antecedendo a cultura do milho em sistema plantio direto, num Latossolo Vermelho, sobre seu rendimento de grãos e rentabilidade econômica. Os resultados apontaram que o sistema de culturas que proporcionou menores rendimentos de grãos foi aquele que envolveu o pousio antecedendo o milho, sendo que as plantas de cobertura mostraram-se economicamente viáveis e operacionalmente lucrativas. Segundo os autores, a resposta de melhor rendimento de grãos de milho após a leguminosa deve-se ao fato desta produzir elevada quantidade de biomassa com baixa relação C/N.

A Tabela 10 apresenta as precipitações pluviométricas ocorridas nos meses de novembro a março de cada ano/safra em que foi cultivada a cultura do milho. Os altos e baixos na produtividade de grãos são em parte explicadas pela quantidade de água disponível para a cultura, principalmente quando nos meses em que a cultura encontra-se na fase de pré-floração ou pendoamento até o enchimento de grãos, período considerado crítico para a cultura do milho (Bergonci et al., 2001; Bergamaschi et al., 2006).

Tabela 10. Precipitação pluviométrica observada durante o ciclo da cultura do milho (novembro a março) nas onze safras agrícolas de um experimento de longa duração, em um Argissolo Vermelho de Santa Maria - RS

Ano	Precipitação pluviométrica, mm					Total
	Novembro	Dezembro	Janeiro	Fevereiro	Março	
1992/1993	65	97	296	58	80	596
1993/1994	126	83	53	158	50	470
1994/1995	410	139	108	120	127	904
1996/1997	53	114	56	171	26	420
1998/1999	37	107	113	98	217	572
1999/2000	86	49	91	63	217	506
2000/2001	204	154	310	125	144	937
2001/2002	108	77	111	101	252	649
2003/2004	228	357	21	110	94	810
2005/2006	57	102	49	45	80	333
2007/2008	44	172	101	131	110	558
Média	129	131	119	107	127	
Normal*	132	133	145	130	151	

*Normal corresponde à média observada em 30 anos, de 1961 a 1990, na Estação Meteorológica do 8° DISME - Santa Maria - RS.

Bergamaschi et al. (2004) constataram que mesmo em anos normais quanto à ocorrência de chuvas, a deficiência hídrica concentrada principalmente na fase crítica de consumo de água pela cultura do milho já é suficiente para promover perdas expressivas na produtividade de grãos. Na fase reprodutiva, em decorrência de processos fisiológicos que culminam na formação do zigoto e enchimento de grãos, a cultura do milho é extremamente sensível ao déficit hídrico (Bergamaschi et al., 2006) e, portanto, se houver adequado suprimento hídrico nesta fase, próximo ao pendoamento/espigamento, elevadas produtividades podem ser alcançadas (Matzenauer et al., 2002; Bergamaschi et al., 2004).

A Tabela 11 apresenta os valores de precipitação média verificada nos meses de novembro a março de cada ano em que se cultivou o milho, e seu respectivo rendimento médio de grãos, em cada tratamento.

Tabela 11. Relação entre a produção de grãos de milho nos diferentes sistemas de culturas avaliados e precipitação pluviométrica ocorrida durante os meses correspondentes às safras agrícolas

Sistemas de culturas	Precipitação ¹ mm	Produção grãos ² kg ha ⁻¹	Equação ajustada	R ²
MFP	614	5531	PG = 3,217P ^{1,1467}	0,345
POU	614	4292	PG = 1,983P ^{0,8295}	0,202
AZEV	614	5383	PG = 3,029P ^{1,1482}	0,326
MUC	614	5449	PG = 6,232P ^{1,0387}	0,275
NFO	614	4917	PG = 4,047P ^{1,0886}	0,269
Média ²	614	5114	PG = 5,387P ^{1,0530}	0,296

MFP: Milho + feijão de porco/soja; POU: Milho/pousio/soja/pousio; AZEV: Milho/azevém + ervilhaca/soja/azevém + ervilhaca; MUC: Milho + mucuna/soja; NFO: Milho/nabo forrageiro/soja/nabo forrageiro. ¹Média da precipitação pluviométrica ocorrida nos meses de novembro a março, considerando todos os anos de culturas do milho. ²Média da produção de grãos de milho em cada tratamento, obtida nas onze safras agrícolas.

A quantidade total de precipitação pluviométrica ocorrida durante o ciclo do milho exerceu influência sobre a produtividade de grãos e apresentou o maior coeficiente de correlação no tratamento MFP (R² = 0,345). Porém, a sua distribuição durante cada mês, mais precisamente nas fases vegetativas e reprodutivas, como

citado anteriormente, pareceu ser um indicativo mais acurado dos rendimentos de grãos apresentados pelos sistemas de culturas. Além da precipitação pluviométrica, outros fatores exercem influência direta na produção de uma cultura e devem ser analisados em cada situação, como por exemplo, as condições físicas do solo em armazenar água, seu conteúdo de matéria orgânica, a própria cobertura do solo em cada tratamento, assim como as interações que ocorrem entre estes fatores.

3.4.2 Produção de matéria seca

A Tabela 12 apresenta os resultados de produção de matéria seca pela cultura do milho nas onze safras em que foi cultivado, durante a execução do experimento.

Tabela 12. Produção de matéria seca pela cultura do milho, cultivado em plantio direto em diferentes sistemas de culturas, em onze safras agrícolas, num Argissolo Vermelho de Santa Maria – RS

Ano	Tratamento				
	MFP	POU	AZEV	MUC	NFO
.....Matéria seca, kg ha ⁻¹					
1992	5065	5138	6001	5862	5647
1993	3888*	5995	3299	4313	4368
1994	4583	4082	5119	4935	4712
1996	5775	6144	6840	5800	5898
1998	12584	8474	12956	13258	14733
1999	8634	5235	7857	8577	7577
2000	7123	5375	6468	7111	6786
2001	6146	4757	5698	5610	5501
2003	6807*	3833	4776	5148	4300
2005	1193*	1160	1238	1188	1002
2007	9423	8815	9747	9361	8504
Média	6475	5364	6364	6469	6275
Total	71221	59009	69998	71164	69028

MFP: Milho + feijão de porco/soja; POU: Milho/pousio/soja/pousio; AZEV: Milho/azevém + ervilhaca/soja/azevém + ervilhaca; MUC: Milho + mucuna/soja; NFO: Milho/nabo forrageiro/soja/nabo forrageiro. *Valores obtidos através da relação entre produção de grãos e produção de matéria seca dos demais anos de culturas do milho.

A fertilidade do solo é outro fator determinante do rendimento de matéria seca e grãos de milho, com destaque ao pH, fósforo e matéria orgânica e disponibilidade de nitrogênio no solo (Andreotti et al., 2001; Brasil et al., 2007; Ceretta et al., 2005). O cultivo de plantas leguminosas antecedendo espécies gramíneas favorece a produtividade destas em razão da liberação dos nutrientes contidos em seus tecidos. Entre os benefícios dessa liberação de nutrientes está o elevado teor de nitrogênio aportado ao solo, como pode ser observado na Tabela 13, além do favorecimento da atividade biológica e fauna edáfica em geral. Assim, os sistemas de culturas MFP, MUC e AZEV proporcionam, a cada ciclo de culturas, significativos aportes de nitrogênio ao solo, sendo este fator determinante de maior produtividade de grãos (Figura 15) e de matéria seca (Tabela 12).

Tabela 13. Carbono (C), nitrogênio (N) e relação carbono/nitrogênio (C/N) nos adubos verdes de verão (feijão de porco e mucuna, no ano 2008) e inverno (nabo forrageiro e consorciação azevém + ervilhaca, em 2007) utilizados nos diferentes sistemas de culturas estudados

Sistemas de culturas	Matéria seca	C	N	C/N
	kg ha ⁻¹	%		
Feijão de porco	1623 ^{ns}	41,20b	2,75bc	15,02bc
Mucuna	1774	41,98b	3,33a	12,60c
Nabo forrageiro	4005	39,00a	2,09cd	18,75a
Azevém/ervilhaca	4659	42,03b	2,55d	16,78ab
C.V. (%)	38,0	1,27	8,74	10,34

Médias seguidas pela mesma letra, na mesma coluna não diferem entre si pelo teste Tukey (P<0,05).^{ns}Diferenças não significativas.

A Figura 16 apresenta a relação entre a produção média de grãos e a produção média de matéria seca pelos diferentes sistemas de culturas avaliados em cada ano, e sugere que a relação verificada entre a produção de grãos e a precipitação pluviométrica durante o ciclo da cultura do milho (Tabela 11) tem influência também na produção de matéria seca.

Os adubos verdes de verão feijão de porco e mucuna foram cultivados em doze dos dezessete anos agrícolas de execução do experimento, em sistema de consorciamento com a cultura do milho, girassol e feijão preto.

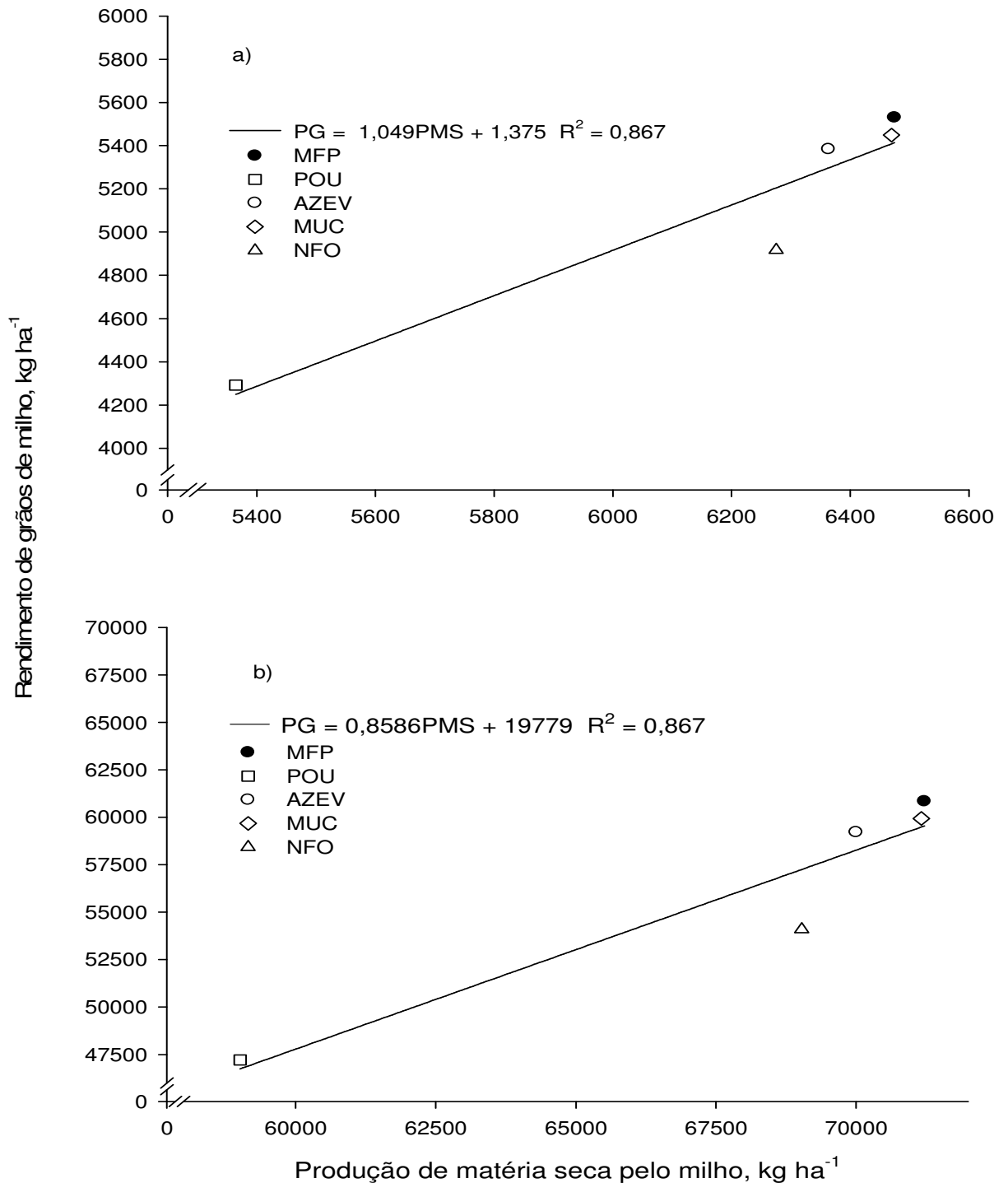


Figura 16. Relação entre a produção de matéria seca pelo milho (PMS) e rendimento de grãos de milho (RG), na média das onze safras agrícolas (a) e na produção total acumulada nas onze safras (b). (MFP: Milho + feijão de porco/soja; POU: Milho/pousio/soja/pousio; AZEV: Milho/azevém + ervilhaca/soja/azevém + ervilhaca; MUC: Milho + mucuna/soja; NFO: Milho/nabo forrageiro/soja/nabo forrageiro).

Observa-se que para as duas culturas ocorreu tendência de diminuição na produção de matéria seca com o decorrer do tempo, possivelmente indicando um efeito negativo do seu cultivo continuamente na mesma área. Por outro lado, a variação existente a cada ano de cultivo pode estar relacionada com deficiências hídricas, com a qualidade das sementes utilizadas, com as condições climáticas nos momentos do plantio realizado em cada ano, e com a temperatura média do ar durante o seu ciclo. Na

Tabela 14 são apresentados os valores da produção de matéria seca pelos adubos verdes de inverno e verão, em cada ano de execução do experimento.

Tabela 14. Produção de matéria seca pelos adubos verdes de inverno e verão, cultivados em diferentes sistemas de culturas durante a execução de um experimento de longa duração, num Argissolo Vermelho, em Santa Maria - RS

Ano	Tratamento ¹									
	MFP		POU ²		AZEVE		MUC		NFO	
Matéria Seca, kg ha ⁻¹									
	I ³	V	I	V	I	V	I	V	I	V
1991		-	3200		3036		-	3591		
1992		5880	-		5402		5585	2523		
1993		5491	-		1713		3856	2697		
1994		5391	-		5692		5548	-		
1995*		4041 ²	1817		3672		3867	3517		
1996		4041	1817		3672		3867	5807		
1997		7522	-		5807		5796	3954		
1998		4258	1277		5545		4199	2442		
1999		2206	2333		4523		4409	2528		
2000		1910	459		4362		3674	5516		
2001		4409	1470		1376		2206	2063		
2002		S	1740		1760		S	2620		
2003		-	2940		2752		-	4126		
2004		S	1830		2644		S	3015		
2005		1721	1070		1431		1590	1950		
2006		S	3482		3741		S	5994		
2007		1623	1578		4659		1774	4005		
2008		S	254		2624		S	2636		
Total		48493	20069		61374		46364	53103		

¹A seqüência detalhada de culturas dos adubos verdes em cada ano é descrita detalhadamente na Tabela 1. Os valores dos anos 1995 e 1996 correspondem à média dos demais anos. MFP: Milho + feijão de porco/soja; POU: Milho/pousio/soja/pousio; AZEV: Milho/azevém + ervilhaca/soja/azevém + ervilhaca; MUC: Milho + mucuna/soja; NFO: Milho/nabo forrageiro/soja/nabo forrageiro ²Corresponde à massa de plantas indesejáveis, principalmente devido à ressemeadura natural do azevém. ³I = Inverno e V = Verão. S = Soja. - Não determinado.

Verifica-se variação entre os diferentes tratamentos, ou plantas, e também variação entre os anos. O tratamento que utilizou pousio no outono/inverno apresentou em alguns anos produção de matéria seca superior aos adubos verdes de inverno que foram semeados. Esta produção elevada de matéria seca deveu-se principalmente à ressemeadura natural do azevém, que apresentava também elevada produção de sementes na maioria dos anos. Ocorreu também uma contribuição das plantas indesejadas, ou ervas daninhas, que por sua vez também apresentaram elevada produção de sementes e boa ressemeadura natural.

O consorciamento de gramínea e leguminosa no inverno, nas condições climáticas do RS, em especial os sistemas que cultivam azevém ou aveia preta com a ervilhaca, é uma excelente alternativa para as propriedades que tem a cultura do milho como prioridade de cultivo na safra de verão. A justificativa para a sua utilização é fundamentada na qualidade e quantidade dos resíduos produzidos pelo consorciamento, além da facilidade de aquisição de sementes, no caso da aveia preta e azevém e, em anos de condições climáticas normais, também da ervilhaca. A implantação dessas espécies também é facilitada devido a sua boa germinação e rusticidade, e pela resistência às doenças e pragas.

A qualidade da matéria seca produzida pode ser observada levando em consideração a relação carbono/nitrogênio (C/N) nos tecidos das plantas (Tabela 13), onde obteve-se uma relação C/N do consórcio azevém + ervilhaca similar ao apresentado pela cultura do feijão de porco e também do nabo forrageiro, sendo inferior apenas à mucuna. Por outro lado, a sua produção de matéria seca total foi maior que todas as outras.

Espécies de plantas que não são utilizadas em larga escala podem apresentar alguns contratempos, em alguns anos, como o que ocorreu no ano de 2003, onde os adubos verdes de verão não foram cultivados devido à falta de sementes de qualidade no mercado. Em parte o problema pode ser resolvido quando se destina uma pequena área da lavoura para a produção de sementes dessas plantas. O feijão de porco produz sementes em quantidade e qualidade suficientes nas condições climáticas do RS. Já a mucuna precisa de um período maior de tempo para completar seu ciclo e produzir sementes, o que normalmente não acontece devido à ocorrência de frio intenso e geadas no outono e início do inverno.

A cultura do nabo forrageiro apresentou, nos últimos anos de avaliação do experimento, certa dificuldade de estabelecimento nas parcelas, o que se atribuiu ao efeito alelopático do culturas contínuo desta espécie na mesma área. Tokura & Nóbrega (2006) avaliaram o efeito alelopático de diferentes espécies de plantas de cobertura do solo e encontraram que dentre as plantas de ciclo invernal, o nabo forrageiro foi a que apresentou o maior efeito sobre outras espécies, infestantes de lavouras ou não.

3.4.3 Carbono e nitrogênio

A dinâmica do carbono no solo é regida pelas adições e perdas anuais, e pela taxa de mineralização do carbono pelos microrganismos do solo. Além destes fatores, outros podem contribuir para aumentar a velocidade com que ocorrem mudanças em sua dinâmica, como a erosão do solo e a mobilização superficial. Alterações significativas na quantidade de carbono no solo sob sistema de plantio direto são melhor visualizadas em intervalos de tempo superiores a um cultivo agrícola ou safra, visto que parte do carbono adicionado por uma cultura qualquer, especialmente as espécies gramíneas, remanescerá no solo por um período longo de tempo, até que os microrganismos consigam sua total decomposição.

Na Tabela 15 são apresentados os valores de carbono orgânico total (COT) encontrados nos tratamentos estudados, nas seis profundidades avaliadas.

A maior fonte de carbono orgânico na agricultura, em abundância e disponibilidade a baixo custo é obtida pelo culturas de plantas que produzam elevada quantidade de biomassa. Dessa maneira, espera-se que sistemas de culturas que utilizem espécies altamente produtivas e o cultivo intensivo destas em sistemas que preconizem a conservação do solo, como o plantio direto, aumentem o conteúdo de carbono orgânico do solo em relação a sua condição original, como o campo nativo do presente estudo.

No entanto, observa-se que o solo sob vegetação nativa (CNA) apresentou o maior valor relativo de carbono orgânico na camada mais superficial (0,0 – 0,025 m), assemelhando-se estatisticamente aos demais tratamentos MUC, AZEV, POU, MFP, NFO e diferenciando-se apenas do tratamentos SDES.

Na camada seguinte (0,025 – 0,05 m) os tratamentos MFP e MUC apresentaram-se superiores aos tratamentos POU, NFO e SDES, e semelhantes ao CNA e AZEV. O solo mantido descoberto durante 16 anos proporcionou uma perda significativa de seu conteúdo de carbono orgânico, em comparação com o tratamento CNA, que era seu estado inicial ou original.

Tabela 15. Carbono orgânico total, em seis profundidades de um Argissolo Vermelho submetido a diferentes sistemas de culturas em plantio direto, em Santa Maria – RS

Sistemas de culturas	Profundidade, m					
	0,0-0,025	0,025-0,05	0,05-0,075	0,075-0,10	0,10-0,15	0,15-0,20
	Carbono orgânico total, g kg ⁻¹					
MFP	1,553a	1,464a	0,988ab	0,873ab	0,732bc	0,695bc
SDES	0,423b	0,407d	0,541c	0,578c	0,567c	0,513c
POU	1,687a	1,212bc	0,982ab	0,876ab	0,785ab	0,729ab
AZEV	2,004a	1,264abc	0,923b	0,824b	0,719bc	0,691bc
MUC	1,970a	1,478a	1,111ab	0,925ab	0,795ab	0,756ab
CNA	2,038a	1,412ab	1,159a	1,006a	0,984a	0,906a
NFO	1,684a	1,134c	0,886b	0,761b	0,692bc	0,682bc

MFP: Milho + feijão de porco/Soja; SDES: Solo descoberto; POU: Milho/pousio/soja/pousio; AZEV: Milho/azevém + ervilhaca/soja/ azevém + ervilhaca; MUC: Milho + mucuna/soja; CNA: Campo nativo; NFO: Milho/nabo forrageiro/soja/nabo forrageiro. Médias seguidas pela mesma letra, para cada profundidade, não diferem entre si pelo teste de Tukey (P<0,05).

Até a profundidade de 0,10 m o seu conteúdo de COT foi inferior aos demais tratamentos, e apenas na camada de 0,10 – 0,15 e 0,15 – 0,20 m o seu valor foi semelhante aos de outros tratamentos, especialmente o NFO. Na profundidade de 0,05 – 0,20 m, o solo sob campo nativo mostrou-se numericamente superior no conteúdo de carbono orgânico, provavelmente devido a elevada atividade biológica e massa de raízes provenientes das espécies gramíneas que compunham sua vegetação. Além disso, o solo sob vegetação natural encontrava-se num estado de equilíbrio dinâmico, em relação às suas condições químicas, físicas e biológicas,

existindo também certa igualdade entre as taxas de adição e decomposição de carbono ao longo do tempo (Dadal & Mayer, 1986).

Outro aspecto de relevância que pode ter interferido no resultado de teor de carbono verificado no campo nativo foi a intensa atividade microbiana e fauna edáfica, como já foi constatado anteriormente por Debarba (1993), Jacobs et al. (2007) e Rosa & Dalmolin (2009). Nesta mesma camada (0,05 – 0,20 m) os sistemas de culturas em plantio direto apresentaram-se muito próximos, com o tratamento NFO apresentando tendência a menores valores do que os demais.

Os resultados do conteúdo de carbono orgânico e nitrogênio total (Tabela 18) encontrados no solo são em parte atribuídos aos resultados da concentração de carbono, nitrogênio e relação carbono/nitrogênio nos tecidos das plantas de cobertura, apresentados na Tabela 13. O adubo verde de inverno nabo forrageiro apresentou a menor porcentagem de carbono na parte aérea, em comparação com o consórcio de inverno entre azevém e ervilhaca, e também em relação aos adubos verdes de verão feijão de porco e mucuna. Estes, porém, foram estatisticamente semelhantes quanto a esta avaliação. O fato de o campo nativo apresentar maior conteúdo de carbono orgânico do que sistemas intensivos de cultivos sob plantio direto sugere que não seja apenas a quantidade de carbono adicionado pelos resíduos de plantas que determina o seu valor no solo.

Sisti et al. (2004) concluíram que a elevação do conteúdo de carbono do solo depende não apenas do aporte em quantidade de resíduos vegetais, mas que depende também do teor de nitrogênio disponível e em quantidade suficiente para suprir as necessidades das culturas. Ainda, é fundamental que haja um excedente de nitrogênio, que irá compor a matéria orgânica do solo. Desta maneira, pelas concentrações de nitrogênio contido nos tecidos da parte aérea das culturas apresentadas na Tabela 13, verifica-se que os adubos verdes de verão feijão de porco e mucuna foram significativamente superiores ao nabo forrageiro, sendo este inferior ao consorciamento azevém + ervilhaca, porém não diferindo estatisticamente.

A Tabela 16 apresenta os teores de carbono, nitrogênio e relação carbono/nitrogênio contido nos tecidos da planta inteira da cultura do milho cultivado na safra agrícola 2007/2008. As concentrações de C variaram entre 42,3 a 43,7%, nos tratamentos NFO e POU, respectivamente, sendo esta diferença significativa. Os demais tratamentos apresentaram valores intermediários, igualando-se entre si e

também com os dois extremos verificados. A concentração de nitrogênio (N) no tecido também diferiu entre os tratamentos avaliados, com significativos maiores valores em MFP e AZEV, em relação ao POU e NFO, que, porém foram semelhantes ao MUC. O maior percentual obtido no consorciamento entre azevém e ervilhaca, em relação ao tratamento com mucuna, pode ser devido ao fato de que o consórcio combine as características peculiares de cada espécie envolvida, como a elevada produção de matéria seca do azevém, com a maior concentração de nitrogênio no tecido da leguminosa ervilhaca. Amado et al. (2000) encontraram elevada produção de matéria seca na cultura da aveia preta, porém em relação à quantidade de N na fitomassa, esta foi 50% inferior ao valor encontrado na cultura da ervilhaca cultivada isolada e na consorciação entre ambas. Esta combinação proporcionou, no estudo, características fenológicas distintas, produzindo biomassa em quantidade tão elevada quanto a encontrada no culturas de aveia preta isolada e uma acumulação de N na fitomassa em quantidade semelhante ao encontrado na cultura da ervilhaca isolada.

Tabela 16. Carbono (C), nitrogênio (N) e relação carbono/nitrogênio (C/N) na cultura do milho, cultivado em plantio direto, na safra agrícola 2007/2008, em diferentes sistemas de culturas

Sistemas de culturas	Matéria seca	C	N	C/N
	kg ha ⁻¹	%		
MFP	9423 ^{ns}	42,70ab	1,67a	25,73bc
POU	8815	43,07a	1,38b	31,34a
AZEV	9747	42,79ab	1,68a	25,46c
MUC	9361	42,91ab	1,52ab	28,21abc
NFO	8504	42,25b	1,39b	30,39ab
C.V. (%)	16,12	0,82	7,45	7,72

MFP: Milho + feijão de porco/soja; POU: Milho/pousio/soja/pousio; AZEV: Milho/azevém + ervilhaca/soja/azevém + ervilhaca; MUC: Milho + mucuna/soja; NFO: Milho/nabo forrageiro/soja/nabo forrageiro. Médias seguidas pela mesma letra, na mesma coluna não diferem entre si pelo teste Tukey (P<0,05). ^{ns}: diferenças não significativas.

Jantalia et al. (2003), avaliando o carbono e nitrogênio total de dois experimentos de longa duração, em um Latossolo Vermelho, submetido a sistemas de rotação de culturas e preparo do solo (plantio direto e preparo convencional), encontraram que, após 13 anos de condução de um dos experimentos, a sucessão

soja/trigo não foi capaz de incrementar os teores de C e N total do solo, em nenhum sistema de preparo do solo. No outro experimento os autores encontraram acréscimo nos teores de C e N total do solo, no sistema de rotação de culturas que utilizou a leguminosa ervilhaca entre suas espécies, em sistema de plantio direto.

Cruz et al. (2003) observaram aumento no conteúdo de carbono orgânico total do solo, na camada de 0,0 – 0,10 m, em plantio direto com três anos de adoção, em comparação ao campo nativo, num Argissolo Vermelho como o do presente estudo. Na camada de 0,10 – 0,20 m, o campo nativo apresentou valores semelhantes ao plantio direto e ao sistema de preparo convencional, reforçando o efeito positivo do acúmulo e da manutenção dos resíduos vegetais na superfície do solo, bem como a dificuldade existente em aumentar a quantidade de carbono no solo, especialmente em camadas profundas.

A Tabela 17 apresenta uma estimativa da adição de carbono pela cultura do milho nas onze safras em que foi cultivado durante a execução do experimento. Os resultados apresentados correspondem à proporção de carbono contido na matéria seca total da planta, e foram obtidos através das Tabelas 12 e 16.

Os resultados apontam que em determinados anos a adição de carbono pode ser alta, como a constatada em 1998, porém podem ocorrer muito baixas adições deste elemento em outros anos, como o que aconteceu em 1993 e 1994. No ano de 2005, houve problema de entrada de animais nas parcelas do experimento, danificando parte das plantas e prejudicando a produção de matéria seca e grãos de milho. Além desse contratempo, a cultura foi castigada por uma severa estiagem que perdurou vários meses, com precipitação total de chuva em cada mês ficando muito abaixo da média normal (Tabela 10).

Do total de carbono adicionado ao solo pelas plantas, parte é assimilado ao corpo dos microrganismos constituintes da fauna edáfica, parte é emitido para a atmosfera na forma de CO₂, parte é incorporada à fração orgânica ou matéria orgânica do solo, e parte pode ser removida da lavoura por ação da erosão. O compartilhamento do carbono adicionado ao solo nas diferentes formas citadas faz com que o acúmulo e conseqüente aumento do seu teor no solo seja lento e dependente diretamente da quantidade aportada pelas culturas agrícolas.

Observa-se na Tabela 17 que a mesma cultura pode proporcionar produção e aporte de carbono ao solo diferenciado, sendo esta variação

proporcionada pelas demais culturas que são cultivadas em subsequência e em sucessão.

Tabela 17. Carbono adicionado ao solo pela cultura do milho em onze safras agrícolas, durante a execução de um experimento de longa duração num Argissolo Vermelho de Santa Maria – RS. (valores estimados)

Ano	Tratamento				
	MFP	POU	AZEV	MUC	NFO
.....C adicionado, kg ha ⁻¹					
1992	2812	2877	3338	3270	3102
1993	2158	3357	1835	2406	2399
1994	2544	2286	2848	2753	2588
1996	3206	3440	3805	3235	3239
1998	6985	4745	7207	7396	8092
1999	4793	2931	4371	4785	4162
2000	3954	3010	3598	3967	3727
2001	3412	2663	3170	3129	3021
2003	3779	2146	2657	2872	2362
2005	662	649	688	663	550
2007	5231	4936	5422	5222	4671
Média	3594	3004	3540	3609	3447
Total	39535	33039	38938	39697	37914

MFP: Milho + feijão de porco/soja; POU: Milho/pousio/soja/pousio; AZEV: Milho/azevém + ervilhaca/soja/azevém + ervilhaca; MUC: Milho + mucuna/soja; NFO: Milho/nabo forrageiro/soja/nabo forrageiro.

A quantidade total de carbono adicionado foi maior nos sistemas de cultivo do milho em consorciamento com as culturas de mucuna e feijão de porco, e em rotação com o consórcio entre azevém + ervilhaca, respectivamente. O sistema que utilizou pousio no inverno, antecedendo o cultivo de milho, apresentou a menor quantidade total de carbono adicionado ao solo, podendo isto ser atribuído à quantidade de matéria seca produzida, apresentada na Tabela 12. Porém, ao comparar as concentrações de carbono no tecido da planta, a Tabela 16 indica que este tratamento (POU) obteve média equivalente aos tratamentos MFP, MUC e AZEV, e maior em relação ao tratamento NFO, sugerindo dessa maneira que a quantidade de matéria seca produzida pode ter maior efeito do que a concentração de C em sua constituição.

Lovato (2001), num experimento de longa duração, avaliou diferentes sistemas de culturas em plantio direto, e concluiu que a inclusão de leguminosas antecedendo o milho, e a consorciação de milho com caupi proporcionou maior produção, adição e acúmulo de carbono e nitrogênio ao solo, em comparação com a não utilização de leguminosas nos sistemas de culturas.

Amado (1997) constatou que a inclusão de leguminosas em sistemas de produção de milho proporciona maior rendimento de grãos do que com a adubação nitrogenada via N-mineral. Concluiu também que a inclusão de leguminosas favoreceu o aporte de carbono e nitrogênio pelo milho ao solo, uma vez que também foi constatada estreita relação entre a produtividade de grãos e a quantidade de matéria seca produzida pelo milho.

Os valores de nitrogênio total no solo (NT) (Tabela 18) acompanharam a tendência de diminuição com o incremento da profundidade, conforme verificado também com a avaliação do conteúdo de carbono orgânico do solo (Tabela 15). Na camada superficial (0,0 – 0,025 m), todos os tratamentos foram semelhantes, com exceção do tratamento SDES. Nas demais camadas de solo avaliadas, foram encontradas diferenças estatísticas significativas, com o SDES apresentando menores valores de NT até 0,10 m. Na camada de 0,10 – 0,15 m, o SDES assemelhou-se aos tratamentos NFO e AZEV e, na camada 0,15 – 0,20 m, o valor apresentado no SDES diferiu apenas do CNA e MUC.

Cabe ressaltar que no solo mantido descoberto, desde 1992 até 2008, uma camada de aproximadamente 0,16 m foi removida pela ação da erosão hídrica, em relação às parcelas adjacentes com os demais tratamentos. Verifica-se neste tratamento, ao contrário dos demais, que ocorreu um pequeno incremento no conteúdo de NT com o aprofundamento no perfil do solo, sugerindo que a camada superficial, diretamente exposta à ação da chuva e erosão, foi mais prejudicada do que as camadas mais profundas. Nestas, devido ao fato de não haver cultivo de plantas e conseqüentemente desenvolvimento de raízes e atividade microbiana no solo, é provável que tenha ocorrido movimentação descendente de N no perfil do solo e provável lixiviação, em situações de freqüentes e/ou elevadas precipitações.

Na camada de 0,025 – 0,05 m, o tratamento sem o cultivo de plantas no período outono/inverno (POU) mostrou-se com o valor de nitrogênio total mais baixo, sendo semelhante ao tratamento NFO, e superou apenas o solo descoberto. Em

todas as camadas avaliadas, os sistemas de culturas MFP, MUC e CNA apresentaram os mais altos valores de NT, sendo estes muito próximos entre si.

O consórcio azevém + ervilhaca (AZEV) apresentou valores semelhantes ao tratamento que utilizou pousio invernal, fato não esperado devido a maior concentração de nitrogênio no tecido da leguminosa (Tabela 13), o que poderia favorecer o acúmulo deste nutriente no solo, como fora verificado nos tratamentos MFP e MUC.

Num solo semelhante ao do presente estudo, Lovato et al. (2004) obtiveram maior adição e acúmulo de nitrogênio total no solo pelo cultivo de plantas leguminosas (ervilhaca e caupi) intercalares ou em consorciamento com o milho, em sistema de plantio direto, após longo período de utilização. Os autores atribuíram o resultado ao aporte constante de resíduos vegetais dessas leguminosas e ao diferenciado conteúdo de carbono e nitrogênio em sua constituição química, conforme também observado nas Tabelas 13, 14 e 16 deste trabalho.

Tabela 18. Nitrogênio total no solo, em seis profundidades de um Argissolo Vermelho submetido a diferentes sistemas de culturas, após longo período de adoção

Sistemas de culturas	Profundidade, m					
	0,0-0,025	0,025-0,05	0,05-0,075	0,075-0,10	0,10-0,15	0,15-0,20
	Nitrogênio total, g kg ⁻¹					
MFP	0,145a	0,138a	0,095ab	0,084a	0,072a	0,067abc
SDES	0,044b	0,041d	0,053c	0,052b	0,053b	0,048c
POU	0,151a	0,114c	0,094ab	0,081a	0,075a	0,066abc
AZEV	0,175a	0,124abc	0,088b	0,083a	0,065ab	0,056bc
MUC	0,184a	0,139a	0,109a	0,089a	0,076a	0,072ab
CNA	0,173a	0,131ab	0,101ab	0,091a	0,081a	0,079a
NFO	0,157a	0,116bc	0,087b	0,077a	0,071ab	0,061abc

MFP: Milho + feijão de porco/Soja; SDES: Solo descoberto; POU: Milho/pousio/soja/pousio; AZEV: Milho/azevém + ervilhaca/soja/ azevém + ervilhaca; MUC: Milho + mucuna/soja; CNA: Campo nativo; NFO: Milho/nabo forrageiro/soja/nabo forrageiro. Médias seguidas pela mesma letra, em cada coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey (P<0,05).

O estoque de carbono orgânico total do solo (ECS) em sete camadas, até a profundidade de 0,20 m, nos sistemas de culturas estudados, são apresentados na Tabela 19. A análise dos resultados por camada de solo evidencia o efeito positivo da inclusão de leguminosas nos sistemas de culturas, uma vez que os tratamentos

MUC e AZEV apresentaram valores superiores ao encontrado no solo sob campo nativo (CNA), na camada 0,0 – 0,05 m. Com exceção do solo descoberto (SDES), os demais tratamentos, nesta camada, apresentaram valores semelhantes.

Na profundidade de 0,05 – 0,10 m nenhum tratamento apresentou maior valor de ECS do que o campo nativo, e o sistema MUC se apresentou ligeiramente abaixo. O tratamento MUC, assim como na camada mais superficial avaliada, apresentou maior ECS entre os 0,10 – 0,15 m, seguido pela prática do pousio (POU) e pelo NFO. Novamente, na camada 0,15 – 0,20 m, o tratamento MUC, apareceu a frente dos demais, e muito semelhante ao valor obtido no MFP e AZEV.

A manutenção da superfície do solo exposta ao efeito erosivo da chuva, aliado ao não cultivo de espécies vegetais, determinou, após 16 anos de adoção desta prática, perdas significativas de carbono orgânico até a profundidade de 0,20 m, em relação aos demais sistemas avaliados. Comparando este tratamento com o campo nativo, que seria a sua condição original ou inicial, a perda de carbono orgânico verificada na camada 0,0 - 0,20 m alcançou 52,7%.

Observando os valores totais da camada 0,0 - 0,20 m, verifica-se que o solo sob campo nativo foi o sistema que apresentou o maior ECS, sendo que o sistema que incluiu a mucuna entre suas espécies foi o tratamento que mais se aproximou, com um valor de apenas 5,1% abaixo do verificado no CNA. A inclusão de feijão de porco, outra leguminosa de verão, apresentou redução de 17,0% no valor de COT, em relação ao CNA, e de 12,5% em relação ao MUC. Resultados não esperados de COT na camada 0,0 – 0,20 m foram verificados no sistema com pousio invernal, aparecendo muito semelhante ao sistema de consorciamento entre azevém + ervilhaca e do sistema com nabo forrageiro, ambas plantas de cobertura de inverno. Tal resultado pode ser atribuído ao aporte de resíduos vegetais de plantas indesejadas, e a possível menor atividade microbiana neste sistema de culturas, favorecendo a permanência dos resíduos orgânicos no solo por mais tempo sem ser decomposto.

Amado et al. (2007) avaliaram o ECS neste mesmo experimento, após 10 anos de implantação dos sistemas de culturas, e encontraram valores semelhantes aos apresentados na Tabela 19, o que demonstra a dificuldade em promover alterações positivas e significativas no conteúdo de carbono do solo.

Tabela 19. Estoque de carbono orgânico total do solo (ECS) em sete camadas de um Argissolo Vermelho submetido a diferentes sistemas de culturas em plantio direto, após 16 anos da implantação do experimento, a partir de um campo nativo

Camada m	Tratamento						
	MFP	SDES	POU	AZEV	MUC	CNA	NFO
	----- Mg ha ⁻¹ de C -----						
0,00 – 0,05	9,495	2,826	9,470	11,282	11,559	10,676	10,723
0,05 – 0,10	7,071	4,286	7,340	6,336	7,961	8,460	6,867
0,10 – 0,15	5,580	4,512	5,977	5,239	6,165	7,281	5,451
0,15 – 0,20	5,399	4,063	5,208	5,194	5,812	6,788	5,151
0,00 – 0,10	16,566	7,112	16,810	17,618	19,519	19,136	17,591
0,10 – 0,20	10,978	8,575	11,185	10,432	11,977	14,068	10,603
0,00 – 0,20	27,544	15,687	27,995	28,050	31,496	33,205	28,193

MFP: Milho + feijão de porco/Soja; SDES: Solo descoberto; POU: Milho/pousio/soja/pousio; AZEV: Milho/azevém + ervilhaca/soja/ azevém + ervilhaca; MUC: Milho + mucuna/soja; CNA: Campo nativo; NFO: Milho/nabo forrageiro/soja/nabo forrageiro

A dificuldade em alterar o conteúdo de COT demonstra ser inferior quanto à diminuição dos valores iniciais, ou estoque inicial de COT do solo, em relação ao aumento no seu conteúdo, uma vez que após 16 anos de cultivo de diferentes sistemas de culturas, com leguminosas adubos verdes de verão e inverno, sem revolvimento ou preparo do solo, conseguiu-se incrementar, pela análise dos dados da Tabela 19, apenas 0,883 e 0,606 Mg ha⁻¹ de COT, nos tratamentos MUC e AZEV, respectivamente, na camada superficial de 0,0 - 0,05 m de profundidade.

Amado et al. (2007) classificaram os tratamentos avaliados segundo uma ordem teórica de qualidade do solo, que envolve as premissas relacionadas ao manejo, entre elas o mínimo revolvimento ou mobilização do solo, a cobertura permanente da superfície do solo, e o elevado aporte de resíduos vegetais ricos em carbono e nitrogênio (Vezzani, 2001; Conceição et al., 2005; Mielniczuk et al., 2003). A ordem hierárquica proposta foi, de maneira ascendente na qualidade do solo, a seguinte: SDES < POU < AZEV < MUC.

O tratamento sob campo nativo não foi enquadrado em momento algum na teoria hierárquica da qualidade do solo devido ao fato deste ser o tratamento testemunha, que serviu como referência de qualidade do solo sem a interferência antrópica. Tal teoria foi confirmada pelos dados de COT obtidos tanto no trabalho de Amado et. (2007), quanto nos dados apresentados na Tabela 19 do presente estudo, na camada de 0,0 – 0,05 m.

Na camada total (0,0 – 0,20 m), o tratamento MFP apresentou-se no mesmo patamar do tratamento POU, que por sua vez apresentou valor muito próximo ao AZEV e NFO, respectivamente. O consorciamento entre milho + mucuna em rotação com a cultura da soja, foi o sistema de culturas que mais se aproximou do solo sob campo nativo, e possivelmente com o incremento dos anos de utilização, poderá igualar e até mesmo superar os valores deste.

A relação observada entre o conteúdo de nitrogênio total (NT) e o conteúdo de carbono orgânico total no solo (COT), em três camadas no perfil do solo é apresentada na Figura 17.

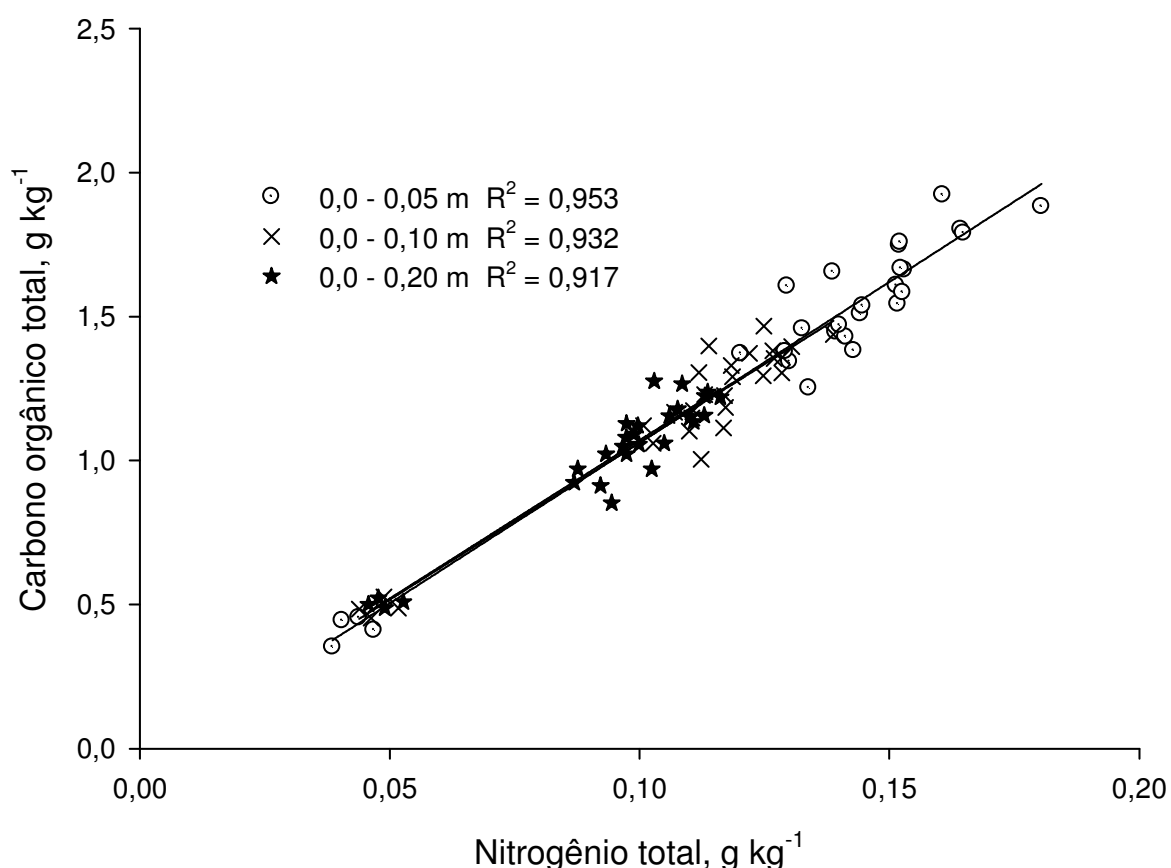


Figura 17. Relação entre o conteúdo de nitrogênio total no solo e o conteúdo de carbono orgânico total, em três profundidades no perfil de um Argissolo Vermelho submetido a diferentes sistemas de culturas. (MFP: Milho + feijão de porco/soja; SDES: Solo descoberto; POU: Milho/pousio/soja/pousio; AZEV: Milho/azevém + ervilhaca/soja/azevém + ervilhaca; MUC: Milho + mucuna/soja; CNA: Campo nativo; NFO: Milho/nabo forrageiro/soja/nabo forrageiro).

Nas três camadas avaliadas obteve-se um alto índice de correlação entre NT e COT no solo, com coeficientes R^2 variando de 0,953; 0,932 e 0,917, para as profundidades de 0,0 – 0,05; 0,0 – 0,10 e 0,0 – 0,20 m, respectivamente.

Os resultados indicam que embora os valores de NT sejam baixos em profundidade, os mesmos exercem influência direta no conteúdo de COT. Observa-se também que existiu um gradiente decrescente nos conteúdos de NT e COT com o incremento da profundidade no perfil do solo, sendo este fato atribuído a maior concentração de resíduos vegetais na superfície do solo no sistema de plantio direto, à maior concentração dos sistemas radiculares das plantas nos primeiros 0,20 m, ao acúmulo de nutrientes (via adubação e via reciclagem pelas plantas) e maior conteúdo de umidade na camada superficial do solo, fatores estes que favoreceram a atividade biológica e a manutenção destes elementos nesta fração do perfil do solo.

Jantalia et al. (2006) obtiveram resultados semelhantes ao avaliar os estoques de carbono e nitrogênio total em dois experimentos de longa duração em um Latossolo Vermelho, e atribuíram tais resultados também ao maior acúmulo de resíduos vegetais, adubação e atividade biológica na camada mais superficial do solo no plantio direto.

A cultura do milho foi utilizada em onze anos, de um total de 17 anos de cultivos agrícolas durante a execução do experimento, e por isso foi a principal responsável pelo aporte de resíduos vegetais, e conseqüentemente de carbono ao solo.

A Figura 18 apresenta a relação entre a quantidade de carbono adicionado pelo milho nos diferentes sistemas de culturas avaliados e o conteúdo de carbono orgânico total no solo, em quatro diferentes camadas em profundidade no perfil do solo.

A camada mais superficial do solo avaliada (0,0 – 0,025 m) apresentou o menor coeficiente de correlação entre a quantidade de carbono adicionado pelo milho (CAM) e conteúdo de carbono orgânico total no solo (COT), enquanto a avaliação das camadas de 0,0 – 0,05 e 0,0 – 0,10 m foram as que melhor se correlacionaram, com coeficiente R^2 de 0,317 e 0,194, respectivamente. A avaliação da camada de 0,0 – 0,20 m indica que existiu um efeito da adição dos resíduos vegetais e conseqüentemente carbono orgânico na superfície do solo em

profundidade no perfil, sendo inclusive mais significativa do que a verificada na camada mais superficial (0,0 – 0,025 m).

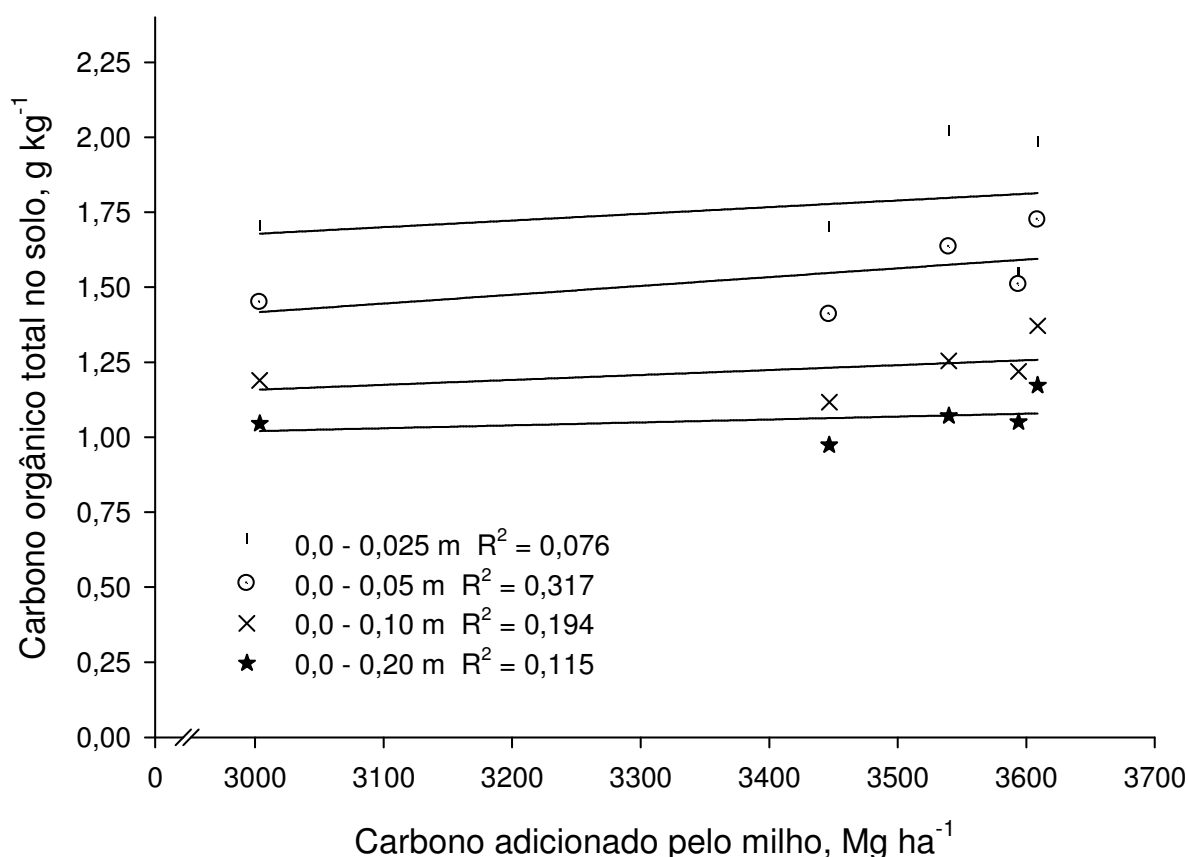


Figura 18. Relação entre a quantidade de carbono adicionado ao solo pela cultura do milho (média dos onze cultivos) e carbono orgânico total no solo, em quatro profundidades no perfil de Argissolo Vermelho submetido a diferentes sistemas de culturas em plantio direto (MFP: Milho + feijão de porco/soja; POU: Milho/pousio/soja/pousio; AZEV: Milho/azevém + ervilhaca/soja/azevém + ervilhaca; MUC: Milho + mucuna/soja; NFO: Milho/nabo forrageiro/soja/nabo forrageiro).

Deve ser considerado que na camada de 0,0 – 0,20 m ocorreu a concentração de uma grande fração do sistema radicular das plantas cultivadas, enquanto, na camada superficial, ocorreu a deposição dos resíduos vegetais após o cultivo das plantas.

Lovato et al. (2004) e Bayer et al. (2000) encontraram resultados semelhantes ao avaliarem o efeito de sistemas de culturas envolvendo milho e leguminosas, num solo semelhante ao do presente estudo, e atribuíram os mesmos ao fato da concentração de resíduos e atividade biológica ocorrer na camada superficial do solo, no sistema de plantio direto.

Na superfície do solo (0,0 – 0,025 m), onde os resíduos vegetais foram aportados após o cultivo agrícola, ocorreu intensa atividade microbiana no sentido de decompor esse material, e o resultado foi ao mesmo tempo a maior taxa de mineralização do carbono orgânico vegetal, assim como a maior taxa de emissão de carbono para a atmosfera em decorrência do metabolismo microbiano. Assim, a época de avaliação do COT, a cultura antecessora e as condições climáticas do período podem ter interferido nos valores de COT observados.

3.5 CONCLUSÕES

1. O sistema plantio direto com utilização de adubos verdes de verão e inverno, após 16 anos, proporcionaram maiores rendimentos de grãos de milho do que o sistema que utilizou pousio invernal.

2. O cultivo do solo a partir de um campo nativo determinou perdas no seu conteúdo de carbono orgânico, porém este foi possível de ser recuperado com a utilização de sistema plantio direto com elevado aporte de resíduos vegetais ricos em carbono e nitrogênio.

3. A manutenção da superfície do solo exposta aos agentes erosivos, por longo período, provocou perdas significativas de seu estoque de carbono e nitrogênio total.

4. O sistema plantio direto com utilização de adubos verdes de verão (mucuna) e de inverno (azevém+ervilhaca), após longo período, foi capaz de promover incrementos no estoque de carbono orgânico total do solo na camada superficial, de 0,0 – 0,05 m, em relação a seu estoque inicial. Contudo, na camada de 0,0 – 0,20 m de profundidade, nenhum sistema de culturas avaliado alcançou os valores encontrados no tratamento referência, no caso, o campo nativo.

3.6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMADO, T.J.C. Disponibilidade de nitrogênio para o milho em sistemas de cultura e preparo de solo. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1997, 201 p. (Tese de Doutorado).

AMADO, T.J.C.; CONCEIÇÃO, P.C.; BAYER, C. & ELTZ, F.L.F. Qualidade do solo avaliada pelo "Soil Quality Kit Test" em dois experimentos de longa duração no Rio Grande do Sul. R. Bras. Ci. Solo. 31:109-121, 2007.

AMADO, T.J.C.; MIELNICZUK, J. & FERNANDES, S.B.V. Leguminosas e adubação mineral como fontes de nitrogênio para o milho em sistemas de preparo do solo. R. Bras. Ci. Solo, 24:179-189, 2000.

ANDREOTTI, M.; SOUZA, E.C.A. & CRUCIOL, C.A.C. Componentes morfológicos e produção de matéria seca de milho em função da aplicação de calcário e zinco. Scientia Agrícola, 58:321-327, 2001.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J.; AMADO, T.J.C.; MARTIN-NETO, L. & FERNANDES, S.V. Organic matter storage in a sandy clay loam Acrisol affected by tillage and cropping systems in southern Brazil. Soil Till. Res., 54:101-109, 2000.

BERGAMASCHI, H.; DALMAGO, G.A.; COMIRAN, F.; BERGONCI, J.I.; MULLER, A.G.; FRANÇA, S.; SANTOS, A.O.; RADIN, B.; BIANCHI, B.A.N. & PEREIRA, P.G. Déficit hídrico e produtividade na cultura do milho. Pesq. Agropec. Bras.,41:243-249, 2006.

BERGAMASCHI, H.; DALMAGO, G.A.; BERGONCI, J.I.; BIANCHI, B.A.N.; MULLER, A.G.; COMIRAN, F. & HECKLER, B.M.M. Distribuição hídrica no período crítico do milho e produção de grãos. Pesq. Agropec. Bras.,39:831-839, 2004.

BERGONCI, J.I.; BERGAMASCHI, H.; SANTOS, A.O.; FRANÇA, S. & RADIN, B. Eficiência da irrigação em rendimento de grãos e matéria seca de milho. Pesq. Agropec. Bras.,36:949-956, 2001.

BERTOL, I.; BEUTLER, J.F.; LEITE, D. & BATISTELA, O. Propriedades físicas de um Cambissolo Húmico afetadas pelo tipo de manejo do solo. Sci. Agric. Vol. 58, n.3. Piracicaba Jul/Set.,2001.

BORKERT, C.M.; GAUDÊNCIO, J.E.; PEREIRA, L.R. & OLIVEIRA JÚNIOR, A. Nutrientes minerais na biomassa da parte aérea em culturas de cobertura de solo. *Pesq. Agropec. Bras.*,38:143-153, 2003.

BRASIL, E.C.; ALVES, V.M.C.; MARRIEL, I.E.; PITTA, G.V.E. & CARVALHO, J.G. Matéria seca e acúmulo de nutrientes em genótipos de milho contrastantes quanto à aquisição de fósforo. *Ci. Agrotec. Lavras*, 31:704-712, 2007.

CARVALHO, M.A.C.; SORATTO, R.P.; ATHAYDE, M.L.F.; ARF, O. & SÁ, M.E. Produtividade do milho em sucessão a adubos verdes no sistema plantio direto e convencional. *Pesq. Agropec. Bras.*,39:47-53, 2004.

CERETTA, C.A.; AITA, C.; BRAIDA, J.A.; PAVINATO, A. & SALET, R.L. Fornecimento de nitrogênio por leguminosas para o milho em sucessão nos sistemas de culturas mínimo e convencional. *R. Bras. Ci. Solo*, 18:215-220, 1994.

CERETTA, C.A.; BASSO, C.J.; PAVINATO, P.S.; TRENTIN, E.F. & GIROTTO, E. Produtividade de grãos de milho, produção de matéria seca e acúmulo de nitrogênio, fósforo e potássio na rotação aveia preta/milho/nabo forrageiro com aplicação de dejetos de suínos. *Ci. Rural*, 35:1287-1295, 2005.

COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO – CFS RS/SC. Manual de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. 10.ed. Porto Alegre, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo – Núcleo Regional Sul; EMBRAPA/CNPT, 2004. 400p.

CONAB – COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Central de informações agropecuárias – Indicadores Agropecuários – Preços da Agropecuária – Mandioca e Milho. Disponível em: http://www.conab.gov.br/conabweb/download/indicadores/0508_Mandioca_e_Milho.pdf. Acesso em 27 de outubro de 2008.

CONCEIÇÃO, P.C.; AMADO, T.J.C.; MIELNICZUK, J. & SPAGNOLLO, E. Qualidade do solo em sistemas de manejo avaliada pela dinâmica da matéria orgânica e atributos relacionados. *R. Bras. Ci. Solo*, 29:777-788, 2005.

CORSINI, P.C. & FERRAUDO, A.S. Efeito de sistemas de culturas na densidade e macroporosidade do solo e no desenvolvimento radicular do milho em Latossolo Roxo. *Pesq. Agropec. Bras.* 34:289-298, 1999.

CRUZ, A.C.R.; PAULETTO, E.A.; FLORES, C.A. & SILVA, J.B. Atributos físicos e carbono orgânico de um Argissolo Vermelho sob sistemas de manejo. R. Bras. Ci. Solo, 27:1105-1112, 2003.

DADAL, R.C. & MAYER, R.J. Long term trends in fertility of soils under continuous cultivation and cereal cropping in southern Queensland. II. Total organic carbon and it's rate of loss from the soil profile. Aust. J. Soil Res.,24:281-289, 1986.

DEBARBA, L. Sistemas de produção de milho adaptados à conservação do solo. Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, 1993. 150 p. (Dissertação de Mestrado).

DENARDIN, J.E.; KOCHHANN, R.A. & RIGHES, A.A. Mulching Vertical: técnica de manejo de enxurradas em Sistema Plantio Direto. Revista Plantio Direto, edição 85, Janeiro/Feveiro de 2005. Aldeia Norte, Passo Fundo – RS.

DERPSCH, R. et al. Manejo do solo com coberturas verdes de inverno. Pesq. Agropec. Bras., 20:761-773. 1985.

DUNN, G.H. & PHILLIPS, R.E. Macroporosity of a well-drained soil under no-till and conventional tillage. Soil Sci. Soc. Am. J., 55:817-823, 1991.

ELTZ, F.L.F. & ROVEDDER, A.P.M. Revegetação e temperatura do solo em áreas degradadas do sudoeste no Rio Grande do Sul. R. Bras. Agrociência, 11:193-200, 2005.

FEBRAPDP – FEDERAÇÃO BRASILEIRA DE PLANTIO DIRETO NA PALHA. Evolução da área de plantio direto no Brasil 1972-2001. Disponível em: http://www.febrapdp.org.br/pd_area_br.htm. Acesso em 15 de novembro de 2004.

GONÇALVES, C.N.; CERETTA, C.A. & BASSO, C.J. Sucessões de culturas com plantas de cobertura e milho em plantio direto e sua influência sobre o nitrogênio do solo. R. Bras. Ci. Solo, 24:153-159, 2000.

ISMAIL, I.; BLEVINS, R.L. & FRYE, W.W. Long-term no-tillage effects on soil properties and continuous corn yields. Soil Sci. Soc. Am. J. 58:193-198, 1994.

JACOBS, L.E.; ELTZ, F.L.F.; ROCHA, M.R.; GUTH, P.L. & HICKMANN, C. Diversidade da fauna edáfica em campo nativo, cultura de cobertura milho + feijão de porco sob plantio direto e solo descoberto. In.: CONGRESSO BRASILEIRO DE

CIÊNCIA DO SOLO, XXXI., 2007, Gramado. Resumos Expandidos...Gramado: SBSCS-NRS, 2007.

JANTALIA, C.P.; PETRERE, C.; AITA, C.; GIACOMINI, S.J.; URQUIAGA, S.; ALVES, B.J.R. BODDEY, R.M. Estoques de Carbono e Nitrogênio do solo após 17 anos sob preparo convencional e plantio direto em dois sistemas de rotação de culturas em Cruz Alta, RS. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2006. 24 p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 13).

LANZANOVA, M.E. Atributos físicos do solo em sistemas de culturas sob plantio direto na integração lavoura-pecuária. Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, 2005. 132p. (Dissertação de Mestrado).

LEAL, A.J.F.; LAZARINI, E.; TARSITANO, M.A.A.; SÁ, M.E.; JÚNIOR, F.G.G. Viabilidade econômica da rotação de culturas e adubos verdes antecedendo o cultivo do milho em sistema plantio direto em solo de cerrado. R. Bras. Milho e Sorgo, 4:298-307, 2005.

LOVATO, T. Dinâmica do carbono e nitrogênio do solo afetada por preparos de solo, sistemas de culturas e adubo nitrogenado. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2001. 150 p. (Tese de Doutorado).

LOVATO, T.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C. & VEZZANI, F. Adição de carbono e nitrogênio e sua relação com os estoques no solo e com o rendimento do milho em sistemas de manejo. R. Bras. Ci. Solo, 28:175-187, 2004.

MATZENAUER, R.; BERGAMASCHI, H.; BERLATO, M.A.; MALUF, J.R.T.; BARNI, N.A.; BUENO, A.C.; DIDONÉ, I.A.; ANJOS, C.S.; MACHADO, F.A. & SAMPAIO, M.R. Consumo de água e disponibilidade hídrica para milho e soja no Rio Grande do Sul. Porto Alegre: Fepagro, 2002. 105p. (Boletim Fepagro, 10).

MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; VEZZANI, F.M.; LOVATO, T.; FERNANDES, F.F. & DEBARBA, L. Manejo do solo e culturas e sua relação com os estoques de carbono e nitrogênio do solo. In: CURI, N.; MARQUES, J.J.; GUILHERME, L.R.G.; LIMA, J.M. ; LOPES, A.S. & ALVAERS, V. V.H., eds. Tópicos em Ciência do Solo. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2003. v.3. p.209-248.

NASCIMENTO, J.T. & SILVA, I.F. Avaliação quantitativa e qualitativa da fitomassa de leguminosas para uso como cobertura de solo. Ci. Rural, 34:947-949, 2004.

NICOLOSO, R.S; AMADO, T.J.C.; LOVATO, T.; SCHNEIDER, S.; LANZANOVA, M. E.; ROSSATO, R. R.; BRAGAGNOLO, J.; GIRARDELLO, V.; GIRARDELLO, R. Nabo forrageiro: alternativa de ciclagem de nutrientes e escarificação biológica do solo. *Revista Plantio Direto*, 104:28-38, 2008.(a).

NICOLOSO, R. S.; AMADO, T.J.C.; SCHNEIDER, S.; LANZANOVA, M.E.; GIRARDELLO, V. & BRAGAGNOLO, J. Eficiência da escarificação mecânica e biológica na melhoria dos atributos físicos de um Latossolo muito argiloso e no incremento do rendimento da soja. *R. Bras. Ci. Solo*, 32:1723-1734, 2008.(b).

PAULETTI, V.; LIMA, M.R.; BARCIK, C. & BITTENCOURT, A. Rendimento de grãos de milho e soja em uma sucessão cultural de oito anos sob diferentes sistemas de manejo de solo e de culturas. *Ci. Rural*, 33:491-495, 2003.

PETRERE, C.; SALET, R.L. & ANGHINONI, I. Produtividade de culturas nos sistemas plantio direto e convencional no sul do Brasil. In.: REUNIÃO SUL-BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO, 1., 1996, Lages. Resumos Expandidos...Lages: SBCS-NRS, 1996. p.76-78.

ROSA, A.S. & DALMOLIN, R.S.D. Fauna edáfica em solo construído, campo nativo e lavoura anual. *Ci. Rural*, 39:913-917, 2009.

SAS INSTITUTE. Statistical Analysis System Institute – SAS/STAT Procedure guide for personal computers. Version 5, SAS Inst. Cary, NC. 1991.

SEGANFREDO, M.L. Sistemas de culturas adaptados à produtividade e a conservação do solo. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Santa Maria, 1995. 95 p.

SEPLAG – RS. Secretaria de Coordenação e Planejamento do Rio Grande do Sul. Atlas Socioeconômico: Estado do Rio Grande do Sul/ Rio Grande do Sul. Secretaria da Coordenação e Planejamento. Porto Alegre: SCP, 2008. 2.ed. 112p.

SILVA, M.A.S.; MAFRA, A.L.; ALBUQUERQUE, J.A.; DALLA ROSA, J.; BAYER, C. & MIELNICZUK, J. Propriedades físicas e teor de carbono orgânico de um Argissolo Vermelho sob distintos sistemas de uso e manejo. *R. Bras. Ci. Solo*, 30:329-337, 2006b.

SILVA, V.R.; REICHERT, J.M. & REINERT, D.J. Variação na temperatura do solo em três sistemas de manejo na cultura do feijão. *R. Bras. Ci. Solo*, 30:391-399, 2006a.

SILVA, R.H. & ROSOLEM, C.A. Crescimento radicular de espécies utilizadas como cobertura decorrente da compactação do solo. R. Bras. Ci. Solo, 25:253-260, 2001.

SILVA, J.C.; HELDWEIN, A.B.; MARTINS, F.B.; TRENTIN, G. & GRIMM, E.L. Análise de distribuição de chuva para Santa Maria, RS. Rev. Bras. Eng. Agric. Amb. 11:67-72, 2007.

SISTI, C.P.J.; SANTOS, H.P.; KOCHHAN, R.; ALVES, B.J.R.; URQUIAGA, S. & BODDEY, R.M. Change in carbon and nitrogen stocks in soil under 13 years of conventional or zero tillage in southern Brazil. Soil Till. Res., 76:39-58, 2004.

SOBRINHO, T.A.; VITORINO, A.C.T.; SOUZA, L.C.F.; GONÇALVES, M.C. & CARVALHO, D.F. Infiltração de água no solo em sistemas de plantio direto e convencional. R. Bras. Eng. Agric. Amb. v.7, n.2, p. 191-196, 2003.

SPAGNOLLO, E.; BAYER, C.; WILDNER, L.P.; ERNANI, P.R.; ALBUQUERQUE, J.A. & NADAL, R. Análise econômica do uso de leguminosas estivais intercalares à cultura do milho, na ausência e na presença de adubação nitrogenada, no oeste de Santa Catarina. R. Bras. Ci. Solo, 25:709-715, 2001.

TOKURA, L.K. & NOBREGA, L.H.P. Alelopatia de cultivos de cobertura vegetal sobre plantas infestantes. Maringá, 28:379-384. 2006.

VEZZANI, F.M. Qualidade do sistema solo na produção agrícola. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2001. 184 p. (Tese de Doutorado).

YUSUF, R.I.; SIEMENS, J.C. & BULLOCK, D.G. Growth analysis of soybean under no-tillage and conventional tillage systems. Agronomy Journal, 91:928-933. 1999.

4 CAPÍTULO IV

PERDAS DE SOLO E ÁGUA EM UM ARGISSOLO VERMELHO SUBMETIDO A SISTEMAS DE CULTURAS CONSERVACIONISTAS POR LONGO PERÍODO

4.1 RESUMO

Para reduzir o impacto ambiental provocado pela erosão hídrica no solo, o sistema plantio direto foi desenvolvido de maneira a ser a principal ferramenta ao alcance do produtor, aliado a algumas premissas básicas para o seu bom funcionamento, em substituição ao sistema de preparo convencional. Dessa maneira, o presente trabalho teve por objetivos verificar o efeito do sistema plantio direto na redução das perdas de solo e água em sistemas de culturas com utilização de adubos verdes de inverno e verão, em comparação com o solo em seu estado original e com o solo mantido permanentemente descoberto. O experimento teve início no ano de 1991, e utiliza como tratamentos, desde 2001, os seguintes sistemas de culturas: (1) Milho (*Zea mays L.*) + feijão de porco (*Canavalia ensiformis DC*)/soja (*Glycine max (L.) Merr.*) (MFP); (2) Solo permanentemente descoberto (SDES); (3) Milho/pousio/soja/pousio (POU); (4) Milho/azevém (*Lolium multiflorum Lam.*) + ervilhaca comum (*Vicia sativa*)/soja/azevém + ervilhaca comum (AZEV); (5) Milho + mucuna cinza (*Stizolobium cinereum*)/soja (MUC); (6) Campo nativo (CNA); e (7) Milho/nabo forrageiro (*Raphanus sativus L. var. oleiferus Metzg.*)/soja/nabo forrageiro (NFO). A manutenção da superfície do solo exposta às condições climáticas e à ação erosiva da chuva, durante 16 anos, determinou a perda progressiva de uma camada de solo de aproximadamente 1 cm de espessura por ano, equivalente a 151 toneladas de solo por hectare por ano. O sistema plantio direto promoveu, em alguns anos, perdas de água menores do que as verificadas em condições naturais de vegetação, como encontradas em um campo nativo. Em comparação com as perdas verificadas em solo permanentemente descoberto, a redução das perdas de solo pelo sistema plantio direto chegou a 99,9%. O sistema plantio direto foi mais eficiente em reduzir as perdas de solo do que as perdas de água das áreas de cultivo. As maiores precipitações e as chuvas mais erosivas ocorreram nos meses de outubro a março, coincidindo com o período destinado à implantação e a colheita de grãos das culturas de verão, para as condições de Santa Maria, RS.

4.2 INTRODUÇÃO

O estudo da erosão hídrica é de fundamental importância para a recomendação técnica relacionada a sistemas de culturas e manejo do solo a serem adotados nas mais diferentes atividades agrícolas, objetivando conservar a qualidade do solo e da água e não provocar danos ambientais ao meio (Cardoso et al., 2004). A descoberta das três fases da erosão hídrica do solo (desagregação, transporte e deposição) foi um marco no estudo e compreensão da mesma (Duley, 1939). O impacto provocado pelas gotas de chuva nos agregados do solo exposto provoca a sua desagregação e o conseqüente transporte e deposição, tornando o solo mais compactado na superfície, desestruturado e suscetível a ser removido com facilidade (Wischmeier & Smith, 1958).

A cobertura vegetal do solo, viva ou morta, dissipa a energia cinética do impacto das gotas de chuva, evitando que a mesma incida diretamente sobre os agregados do solo. Isso impede a ocorrência da primeira fase da erosão hídrica, a desagregação, e conseqüentemente o selamento superficial do solo que reduz a permeabilidade na camada superficial. Em seqüência, o processo de infiltração de água no perfil de solo é favorecido, e reduz-se assim um potencial escoamento superficial (Manering & Meyer, 1962; Eltz, 1977; Amado et al., 1989).

O preparo do solo é a operação mais importante do seu manejo, pois atua diretamente na estrutura, afetando a densidade e porosidade, as quais tendem a diferenciar-se das condições naturais do solo, piorando com o passar do tempo em manejos inadequados (Anjos et al., 1994). O sistema de preparo convencional do solo, com aração e gradagem, diminui a rugosidade superficial e a cobertura do solo (Cogo, 1981; Bertol et al., 1997), deixando sua superfície desestruturada, pulverizada e exposta à erosão hídrica (Hernani et al., 1997; Lindstrom et al., 1998), além de provocar, pelo uso continuado dos mesmos implementos, uma compactação do solo em subsuperfície, também conhecida como pé-de-arado ou pé-de-grade (Dalla Rosa, 1981).

O sistema de plantio direto (SPD), caracterizado pelo mínimo revolvimento do solo e pela manutenção dos resíduos vegetais na superfície, foi adotado para reduzir a erosão hídrica, sendo eficiente na redução das perdas de solo e água

(Debarba, 1993; Seganfredo et al., 1997). Porém, na atualidade, a erosão hídrica do solo ainda é responsável pela maior parte das áreas de solo degradadas no Estado do Rio Grande do Sul (Denardin et al., 2005a) e no Brasil (Bertoni & Lombardi Neto, 1990). O uso cada vez mais intensivo do solo, aliado às práticas que não respeitam a sua conservação, e a sistemas de preparo do solo que o mantém sem cobertura vegetal por um período que muitas vezes coincide com os de maior potencial erosivo da chuva, pode ser visto como o fator determinante desse incremento gradual no total de áreas degradadas no RS (Denardin et al., 2005b), e também em nível nacional.

A substituição do sistema de preparo convencional do solo, pelo sistema de plantio direto, foi um evento que contribuiu muito para a redução do problema da erosão hídrica e contaminação ambiental. Na década de 80, onde a maior parte das lavouras era preparada no sistema convencional, este manejo que revolia a superfície do solo coincidia com o período de ocorrência das chuvas mais erosivas, agravando o potencial de dano ao solo (Cogo, 1978). Isto de fato não ocorre mais com o SPD, pois não há necessidade do revolvimento ou preparo do solo para efetuar o plantio das culturas.

Pelo fato de visualmente não se observar perdas de solo, ou desta ser reduzida drasticamente em relação ao que ocorria no sistema de preparo convencional, o processo erosivo começou a ser ignorado e, ao descuidar no momento de produzir e manter palha sobre o solo, muitas lavouras mesmo em SPD acabam somando significativas perdas de solo e especialmente água. Esta água, além do mais, é carregada de nutrientes e outros elementos químicos que potencialmente causarão contaminação de mananciais, além do dano econômico gerado pelos fertilizantes aplicados que foram removidos da lavoura (Bertol et al., 2007a). Solo que é degradado por erosão perde seu potencial produtivo, perde fertilidade, conteúdo de matéria orgânica, a estrutura empobrece, a porosidade diminui consideravelmente, a densidade incrementa e a infiltração de água cai drasticamente (Frye et al., 1982).

A absorção do impacto das gotas de chuva pelos resíduos vegetais produzidos e mantidos na superfície do solo faz com que a desagregação do solo seja severamente reduzida. Aliado a isto, uma espécie de barreira formada por estes resíduos interpostos no sentido transversal ao da declividade, que atuam no sentido de reduzir a velocidade da enxurrada, fazem com que o total de perdas de

solo e água verificado nesse ambiente seja baixo (Debarba, 1993; Seganfredo, 1995). Em SPD, a água é retida por mais tempo e, com menos energia, é forçada a infiltrar, diminuindo o escoamento superficial e, com isso, reduzindo também as perdas de água. Apesar disso, perdas de solo e água em SPD ocorrem e são comumente verificadas, em diversas regiões do país e diferentes tipos de solo e culturas (Schick et al., 2000a; Schick et al., 2000b; Bertol et al., 2004; Debarba, 1993; Seganfredo et al., 1997).

Além do sistema de manejo do solo, a declividade da área e o comprimento total da rampa ou lançante influenciam e podem determinar perdas de solo e água, mesmo no SPD (Cogo et al., 1996; Bertol et al., 1997; Moraes & Cogo, 2001). A quantidade de material residual produzido e deixada pelas culturas na superfície do solo, bem como sua persistência ou taxa de decomposição, influem de maneira direto na redução da erosão hídrica (Eltz et al., 1984; Cogo et al., 2003).

Sistemas de culturas que tem por objetivo a produção de grãos, em plantio direto, mas que, ao mesmo tempo envolvem espécies de plantas utilizadas como adubos verdes, como por exemplo, feijão de porco, mucuna, nabo forrageiro, azevém e ervilhaca, são beneficiados pelos efeitos positivos que estas exercem sobre o solo. Leguminosas possuem relação C/N mais baixa em relação as gramíneas, porém, estas permanecem por mais tempo protegendo o solo, devido a sua menor velocidade de decomposição (Aita & Giacomini, 2003). Espécies como o nabo forrageiro, com sistema radicular pivotante, são excelentes descompactadoras biológicas do solo, rompendo camadas de impedimento ao desenvolvimento de raízes de outras espécies de plantas mais suscetíveis a esse efeito nocivo da compactação (Nicoloso et al., 2008a; Nicoloso et al., 2008b).

Além de proporcionar aporte diferenciado de material vegetal, estas espécies mantêm o solo protegido no período compreendido entre um cultivo e outro, evitando o pousio. Além disso, mantêm o mesmo com excelente cobertura e proteção aos efeitos deletérios potenciais das chuvas intensas, precavendo o processo erosivo. Quantidades de matéria seca da ordem de 4 a 6 toneladas por hectare, em SPD, podem ser produzidas por espécies de adubos verdes, tanto de verão, como a mucuna e o feijão de porco, como as de inverno, como a aveia preta, o azevém, a ervilhaca, ou o seu consorciamento. O consorciamento, por sinal, tem excelente qualidade, tanto para cobertura do solo quanto para possível utilização como forragem na alimentação animal (Lanzanova, 2005; Lanzanova et al., 2007).

O efeito de plantas de cobertura e sistemas de rotação de culturas na redução da erosão do solo é estudado há vários anos, sendo constituinte importante da equação universal de perdas de solo por erosão hídrica (DeMaria & Lombardi Neto, 1997). Porém, o efeito prolongado que os sistemas de culturas com determinadas características desenvolvem após longo período ainda são escassos. Cassol et al. (1999) avaliaram as perdas de solo e água em diferentes métodos de preparo do solo e plantas forrageiras de inverno, a partir de um campo nativo num Argissolo Vermelho-amarelo, e encontraram uma redução na perda de solo da ordem de 1500 kg ha^{-1} , comparando o plantio direto com o preparo convencional.

Comparando um solo sem cultivo (parcela padrão da Equação Universal de Perdas de Solo), preparo convencional, cultivo mínimo e plantio direto com e sem queimada, a partir de um campo nativo, em um Nitossolo Háplico, Mello et al. (2003) observaram perdas de solo e água, respectivamente, de 178 e 1,4 vezes maior no solo descoberto do que no plantio direto. Os autores atribuíram a maior perda de solo e água no solo descoberto devido ao fato de ocorrer selamento superficial nos primeiros milímetros de solo, o que dificultou a infiltração de água e favoreceu o escoamento superficial e conseqüente enxurrada.

A implantação do SPD diretamente sobre um campo nativo é favorecida pela boa estrutura fornecida por este, e pelo fato de não haver necessidade de realizar o revolvimento do solo para fins de plantio. Com a cobertura exercida por resíduos vegetais remanescentes e por plantas cultivadas, ocorre a dissipação da energia cinética do impacto da gota de chuva, favorecendo o processo de infiltração de água no solo, diminuindo o efeito erosivo da chuva e as conseqüentes perdas de solo e água. Conclusões semelhantes foram encontradas também por Cogo et al. (1984) e Mello (2002).

O presente trabalho teve por objetivo quantificar e comparar as perdas de solo e água ocorridas em sistemas de culturas sob plantio direto com uso de adubos verdes de inverno e verão, em rotação com as culturas de soja e milho, após 16 anos de utilização, com as perdas ocorridas em uma parcela com solo mantido permanentemente descoberto e com uma parcela de solo mantido em sua condição original de campo nativo, além de constatar as possíveis relações entre as perdas de solo e água e as precipitações pluviométricas e erosividade da chuva.

4.3 MATERIAL E MÉTODOS

Informações detalhadas sobre solo, clima, tratamentos, delineamento, manejo e condução do trabalho estão descritas no item Introdução Geral e Capítulo 1 do presente trabalho.

Cada parcela experimental foi delimitada por chapas de aço galvanizado, com 0,20 m de altura e introduzidas ao solo a uma profundidade de 0,10 m, utilizadas para a coleta de perdas de solo e água proveniente de enxurradas. As dimensões de cada parcela eram de 3,5 m de largura e 22 m de comprimento, totalizando área útil de 77 m², e declividade média de 0,055 m m⁻¹. Em função da variação existente na declividade de cada parcela, as perdas de solo foram ajustadas para uma declividade de 0,06 m m⁻¹, através da multiplicação do valor da perda de solo, pelo produto da divisão do valor “S” de um declive de 6% pelo valor “S” do declive da parcela, onde:

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

onde θ é o ângulo do declive (Wischmeier & Smith, 1978).

A coleta de enxurrada foi realizada após cada evento ou grupo de eventos de precipitação pluviométrica. Para isto, na parte inferior de cada parcela, foram instaladas calhas coletoras para o material erodido, que foram interligadas por meio de canos de PVC de 75 mm de diâmetro a tanques de cimento-amianto, com capacidade para 1000 L, devidamente fechados com tampas e com registros na parte inferior.

No tratamento SDES foi instalada uma segunda caixa coletora em cada parcela, de mesma capacidade volumétrica, devido à grande quantidade de solo e água perdidos neste tratamento. A segunda caixa foi interligada à primeira através de um divisor “GEIB”, que coletava apenas 1/9 da enxurrada que passava da primeira caixa para a segunda.

A metodologia utilizada para a medição da quantidade de água escoada e solo perdido seguiu o método proposto por Veiga & Wildner (1993). A erosividade da chuva foi determinada pelo índice EI₃₀, calculado segundo critérios propostos por

Wischmeier & Smith (1978) e modificados por Cabeda (1976). A conversão da erosividade da chuva para o sistema internacional de unidades foi realizada segundo Foster et al. (1981).

Os dados de perdas de solo e água e de erosividade da chuva obtidos no presente trabalho compreenderam o período entre abril de 1992 e março de 2008, onde foram incorporados os dados obtidos por Debarba (1993) e Seganfredo (1995), e os demais dados obtidos nos anos seguintes, totalizando um período de coleta de dados de 16 anos. Os resultados de perdas de solo e água foram analisados considerando-se dois cultivos durante o ano agrícola, ou seja, um período destinado ao cultivo de culturas de outono-inverno, correspondente aos meses de abril a setembro, e outro período destinado ao cultivo das culturas de primavera-verão, correspondente aos meses de outubro a março.

A erodibilidade do solo (Fator K) foi obtida segundo o método proposto por Wischmeier & Smith (1978), através da razão entre as perdas de solo verificadas na parcela padrão (tratamento SDES), e as suas respectivas erosividades das chuvas causadoras das referidas perdas de solo. Para a obtenção dos valores de perdas de solo ajustadas à declividade de 9%, cujos valores foram utilizados nos cálculos de erodibilidade, razão de perdas de solo e fator C, utilizou-se a metodologia descrita em Cassol et al., (1999), através da equação: $P_n = P_o(S_a/S_o)$, onde P_n corresponde às perdas de solo ajustadas; P_o equivale às perdas de solo observadas em condições reais; S_a corresponde ao fator S da Equação Universal de Perdas de Solo para uma declividade de 9%; e S_o equivale ao fator S para a declividade média da parcela experimental.

O fator K também foi calculado graficamente, correspondendo ao coeficiente b da equação de regressão linear ajustada ao modelo $Y = a + bX$, onde Y corresponde às perdas de solo verificadas na parcela padrão ($t\ ha^{-1}$) e X corresponde à erosividade da chuva ($MJ\ mm\ ha^{-1}\ h^{-1}$) (Wischmeier & Mannering, 1969). Foram considerados neste cálculo dados referentes ao período de abril de 1992 a março de 2008, totalizando 16 anos.

O fator "C" da Equação Universal de Perdas de Solo foi calculado para os sistemas de culturas MFP, POU, AZEV, MUC, CNA e NFO, e correspondeu ao somatório dos produtos da razão de perdas de solo pela fração do índice de erosividade da chuva (EI_{30}) do período de avaliação. A razão de perdas de solo correspondeu ao quociente entre as perdas de solo verificadas em cada sistema de

culturas avaliado, pelas perdas ocorridas na parcela padrão (tratamento SDES), para cada período. A parcela padrão foi conduzida com capinas manuais periódicas para evitar proliferação de ervas daninhas, e foi preparada convencionalmente duas vezes ao ano, com as operações de revolvimento do solo realizadas no sentido da declividade, na mesma época de plantio dos demais sistemas de culturas. A fração do índice EI_{30} correspondeu à porcentagem do índice de erosividade que determinou as respectivas perdas de solo utilizadas no cálculo para cada sistema de culturas e período avaliado.

Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância e regressão linear simples, e as médias dos tratamentos analisadas pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade, com o auxílio do pacote estatístico SAS (Statistic Analise Systems, 1991).

4.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.4.1 Perdas de solo

A Tabela 20 apresenta as perdas de solo mensais acumuladas, nos diferentes sistemas de culturas avaliados, durante o período total de execução do experimento (abril de 1992 a março de 2008).

Todos os tratamentos avaliados apresentaram perdas variáveis durante os diferentes meses do ano, o que foi reflexo principalmente das particularidades de cada tipo de planta utilizada nos referidos sistemas de culturas. Também, devido ao estágio de desenvolvimento em que cada planta encontrava-se no momento das precipitações mais erosivas, além da variação da erosividade da chuva.

Os sistemas MFP e MUC apresentaram maiores perdas de solo no mês de outubro, que coincide com a época de plantio das culturas de verão, soja e milho, e janeiro, quando a proteção exercida pelos adubos verdes feijão de porco e mucuna é ainda pouco efetiva.

O pousio invernal concentrou suas perdas também nos meses de outubro e janeiro, como nos tratamentos acima citados, além do mês de novembro, sugerindo que este tipo de manejo de plantas exerce efeito além dos meses em que é utilizado.

O consórcio entre gramíneas e leguminosas no período de inverno (AZEV) apresentou as perdas de solo mais regulares durante os meses do ano, no total dos 16 anos de avaliação do experimento. Esse resultado é devido fundamentalmente ao fato de que o solo permaneceu com cobertura vegetal durante o maior período de tempo possível entre um cultivo e outro.

Tabela 20. Perdas mensais de solo acumuladas no período de abril de 1992 a março de 2008, em diferentes sistemas de culturas, num Argissolo Vermelho em Santa Maria – RS

Meses	Tratamento						
	MFP	SDES	POU	AZEV	MUC	CNA	NFO
	Perdas de solo, t ha ⁻¹						
Abril	0,317	179,598	0,666	0,328	1,241	0,107	0,646
Maio	0,202	172,979	1,343	0,497	0,242	0,071	0,502
Junho	0,367	182,297	0,846	0,337	0,403	0,087	0,407
Julho	0,164	137,166	0,355	0,133	0,236	0,067	0,191
Agosto	0,240	92,092	0,306	0,154	0,232	0,119	0,194
Setembro	0,551	245,628	0,589	0,393	0,469	0,105	0,428
Outubro	1,149	296,348	5,564	0,334	1,814	0,082	0,758
Novembro	0,500	189,651	3,476	0,152	0,491	0,026	0,443
Dezembro	0,765	297,414	1,616	0,374	0,788	0,096	0,355
Janeiro	2,029	360,094	3,233	0,381	1,556	0,114	0,955
Fevereiro	1,428	235,081	1,441	0,338	0,847	0,156	1,190
Março	0,227	151,381	0,779	0,419	0,350	0,036	0,405
Total	7,939b*	2539,728a	20,215b	3,839b	8,669b	1,065	6,476b

MFP: Milho + feijão de porco/soja; SDES: Solo descoberto; POU: Milho/pousio/soja/pousio; AZEV: Milho/azevém + ervilhaca/soja/azevém + ervilhaca; MUC: Milho + mucuna/soja; CNA: Campo nativo; NFO: Milho/nabo forrageiro/soja/nabo forrageiro. Valores totais seguidos de mesma letra não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Isto se deve em parte à elevada ressemeadura natural do azevém, quando no seu manejo lhe é permitido à produção de sementes e, em parte, à duração do seu ciclo de vida, diferenciado da ervilhaca. Quanto ao valor total observado neste tratamento, destaca-se que o mesmo foi o que mais se aproximou do solo sob

campo nativo, sendo entre os sistemas que utilizam a plantio direto, o mais eficiente em conservar o solo.

As perdas mensais de solo, no tratamento em que o mesmo é mantido sob campo nativo (CNA), embora determinado em apenas uma repetição, fornece importante parâmetro comparativo e de referência para os demais tratamentos, sendo considerado este o sistema mais conservacionista em estudo e o que proporciona o melhor efeito protetor do solo frente à ação erosiva da chuva.

Na Figura 19 observa-se o comportamento das perdas de solo nos referidos tratamentos durante cada mês do ano, nos somatórios totais desde abril de 1992 a março de 2008.

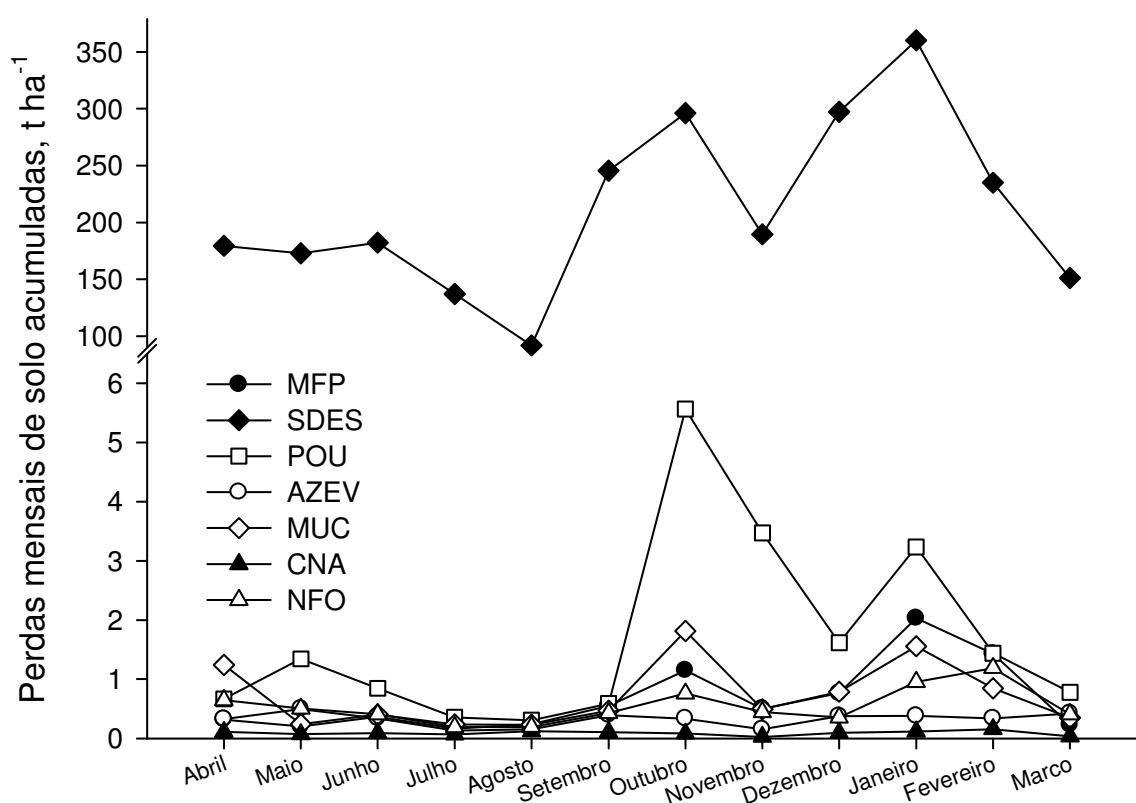


Figura 19. Perdas mensais de solo em diferentes sistemas de culturas sob plantio direto, em solo descoberto e num campo nativo, observadas durante o período abril de 1992 a março de 2008, num Argissolo Vermelho em Santa Maria – RS. (MFP: milho + feijão de porco/soja; SDES: solo descoberto; POU: milho/pousio/soja/pousio; AZEV: milho/azevém + ervilhaca/soja/azevém + ervilhaca; MUC: milho + mucuna/soja; CNA: campo nativo; NFO: milho/nabo forrageiro/soja/nabo forrageiro).

Os meses de outubro, janeiro e fevereiro foram os que registraram as maiores perdas de solo no tratamento NFO, sendo semelhante aos resultados encontrados nos demais tratamentos sob plantio direto.

O período compreendido entre o plantio das culturas de verão, soja e milho, e o fechamento das entrelinhas pelo dossel vegetativo (outubro a janeiro) é o mais suscetível de sofrer erosão hídrica, uma vez que é justamente neste período que as maiores alturas de precipitações, assim como as precipitações de maior erosividade, normalmente ocorrem. Observa-se que o tratamento POU foi o que apresentou a maior variação entre os valores mensais de perdas de solo, bem como foi o que apresentou os maiores valores, com picos nos meses de outubro, novembro e janeiro.

O solo sob campo nativo apresentou perdas de solo praticamente regulares durante os meses do ano, sendo este comportamento apresentado também pelo sistema AZEV.

A condição de solo descoberto proporciona perdas de solo variáveis durante o ano, com picos de perdas de solo coincidindo com os meses de outubro e janeiro, de maneira semelhante as que ocorreram nos demais tratamentos. Porém, neste tratamento, os principais fatores determinantes das perdas de solo, como não há cobertura vegetal e dissipação da energia cinética das gotas de chuva, são a altura das precipitações pluviométricas e suas respectivas erosividades.

De maneira geral nota-se que os meses de outubro e janeiro são os que apresentaram, em cada tratamento, os picos máximos de perda de solo durante o ano, concordando com os resultados obtidos anteriormente no mesmo experimento por Debarba (1993) e Seganfredo (1995).

Os meses de julho e agosto foram, respectivamente, os que apresentaram as menores quantidades de perdas de solo no tratamento SDES. A ordem decrescente dos valores mensais de perdas de solo é a seguinte: Janeiro - Dezembro – Outubro – Setembro – Fevereiro – Novembro, ou seja, praticamente todo o período destinado ao cultivo das culturas de verão nas condições climáticas da região sul do Brasil. Observa-se um determinado padrão de comportamento mensal dos valores de perdas de solo, com picos máximos e mínimos nos meses de janeiro e agosto, respectivamente (Figura 19).

A distribuição relativa das perdas de solo nos meses do ano, em cada tratamento, apresentada na Figura 20, indica que embora existam diferenças na

cobertura do solo exercida por cada sistema de culturas, em cada mês, outros fatores contribuíram e determinaram as quantidades de solo perdidas por erosão.

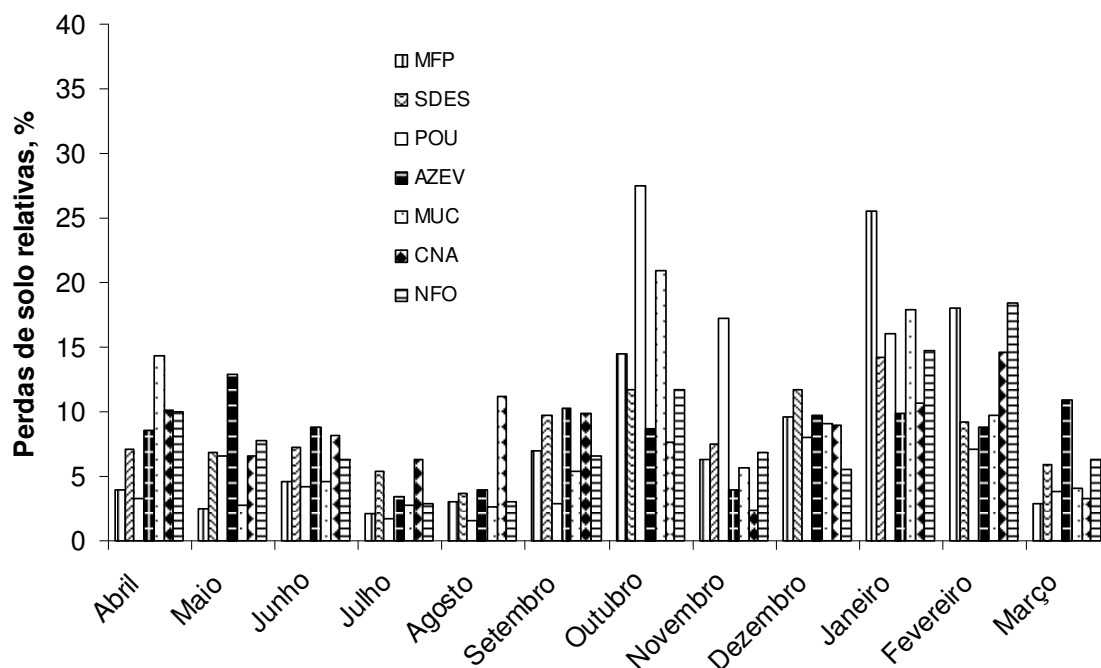


Figura 20. Distribuição relativa das perdas de solo nos meses do ano, em diferentes sistemas de culturas sob plantio direto, em um solo descoberto, e num campo nativo, em Santa Maria - RS. (MFP: milho + feijão de porco/soja; SDES: solo descoberto; POU: milho/pousio/soja/pousio; AZEV: milho/azevém + ervilhaca/soja/azevém + ervilhaca; MUC: milho + mucuna/soja; CNA: campo nativo; NFO: milho/nabo forrageiro/soja/nabo forrageiro).

A altura da precipitação pluviométrica ocorrida em cada mês do ano, e sua respectiva erosividade (Figura 21), são também fatores determinantes das perdas de solo verificadas em cada tratamento, uma vez que apresentaram valores médios mensais de maneira semelhante ao que foi verificado com as médias de perdas de solo apresentadas na Figura 19.

Lombardi Neto & Moldenhauer (1992) obtiveram elevada correlação entre as perdas de solo verificadas em solo descoberto, e o índice de erosividade da chuva, com concentração de 62% do potencial de erosão hídrica do solo no período compreendido entre os meses de dezembro e fevereiro.

Beutler et al. (2003) encontraram para Chapecó – SC, maiores perdas de solo nos meses do período primavera/verão, em comparação com o período outono/inverno. Os autores atribuíram os resultados devido ao fato de que para aquela localidade, no período primavera/verão houve erosividade da chuva 78% superior ao constatado no período outono/inverno.

Os meses de julho e agosto registraram os menores valores de perdas de solo, no tratamento SDES, e também no total de cada tratamento (Tabela 20 e Figura 19).

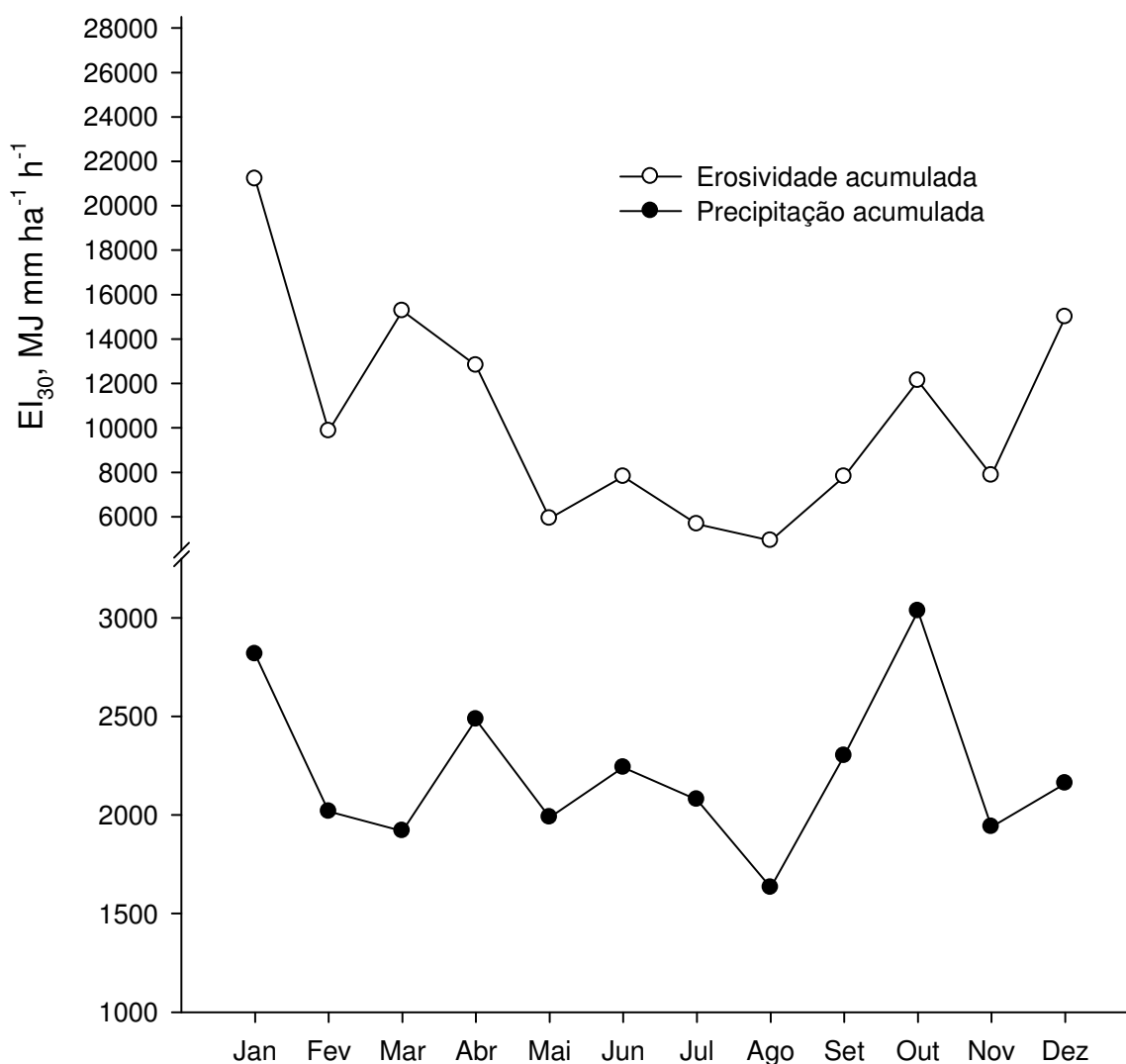


Figura 21. Índice de erosividade da chuva mensal e precipitação pluviométrica mensal ocorrida no período de abril de 1992 a março de 2008, em Santa Maria – RS.

Além disso, foram os meses que apresentaram os menores valores de erosividade da chuva, e o menor (agosto) e sexto menor (julho) valor de precipitação pluviométrica mensal (Figura 21).

Na Figura 22 observa-se a relação entre a precipitação pluviométrica total ocorrida em cada mês e a erosividade total da chuva de cada mês de execução do experimento.

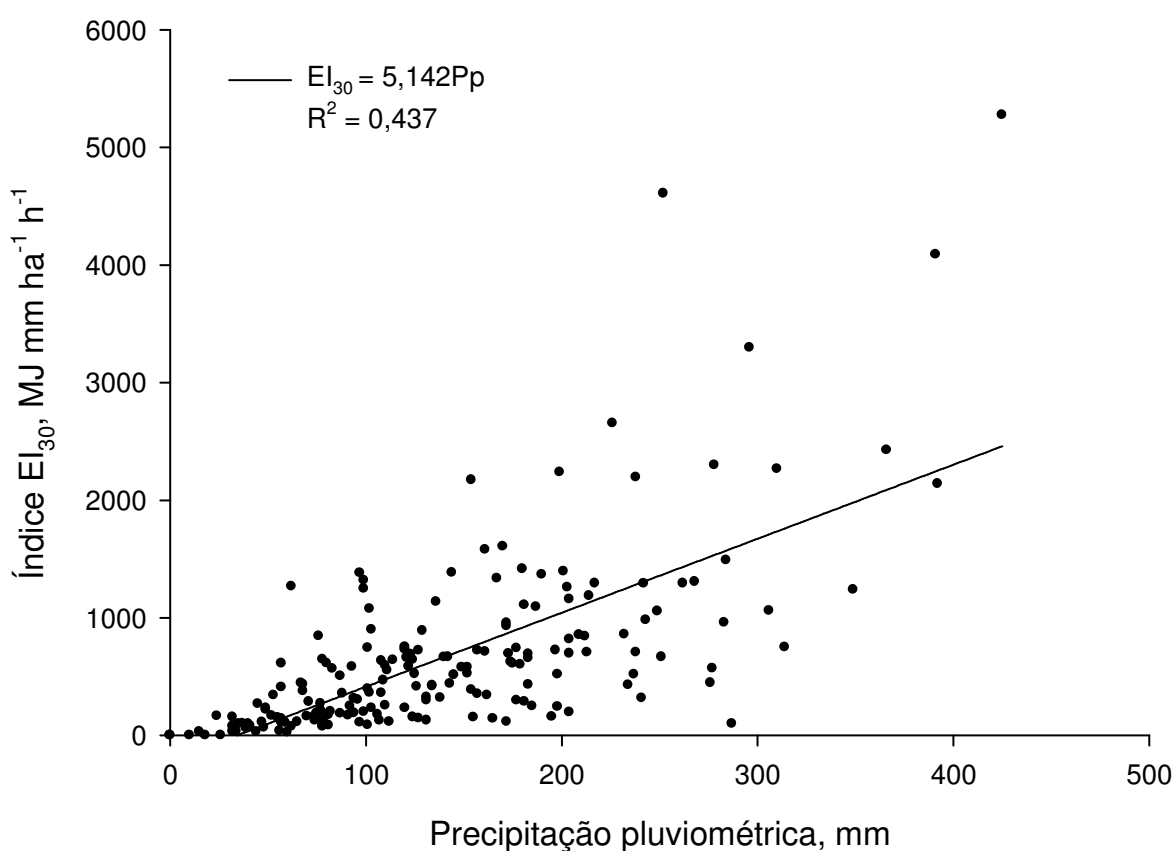


Figura 22. Relação entre o índice de erosividade da chuva mensal e precipitação pluviométrica mensal verificada no período de abril de 1992 a março de 2008, em Santa Maria – RS.

Mesmo as duas variáveis apresentando tendências semelhantes, conforme demonstra a Figura 21, o coeficiente de correlação obtido (Figura 22) não foi elevado ($R^2 = 0,437$). Isso pode ser atribuído ao fato de que eventos de precipitação pluviométrica de elevada intensidade, isolados, e aleatoriamente

durante o ano, podem apresentar elevados valores de erosividade. Ao mesmo tempo, podem ocorrer elevadas alturas de precipitações durante alguns meses, porém estas não necessariamente apresentam alto índice de erosividade. Chuvas torrenciais, com elevada intensidade e curta duração, podem proporcionar elevados índices de erosividade e promover, em consequência, elevados valores de perdas de solo e água (Debarba & Amado, 1997; Seganfredo et al., 1997).

Na Figura 23 observa-se que a precipitação pluviométrica total verificada em cada mês de execução do experimento foi responsável por uma significativa fração das perdas de solo verificadas em cada tratamento sob plantio direto.

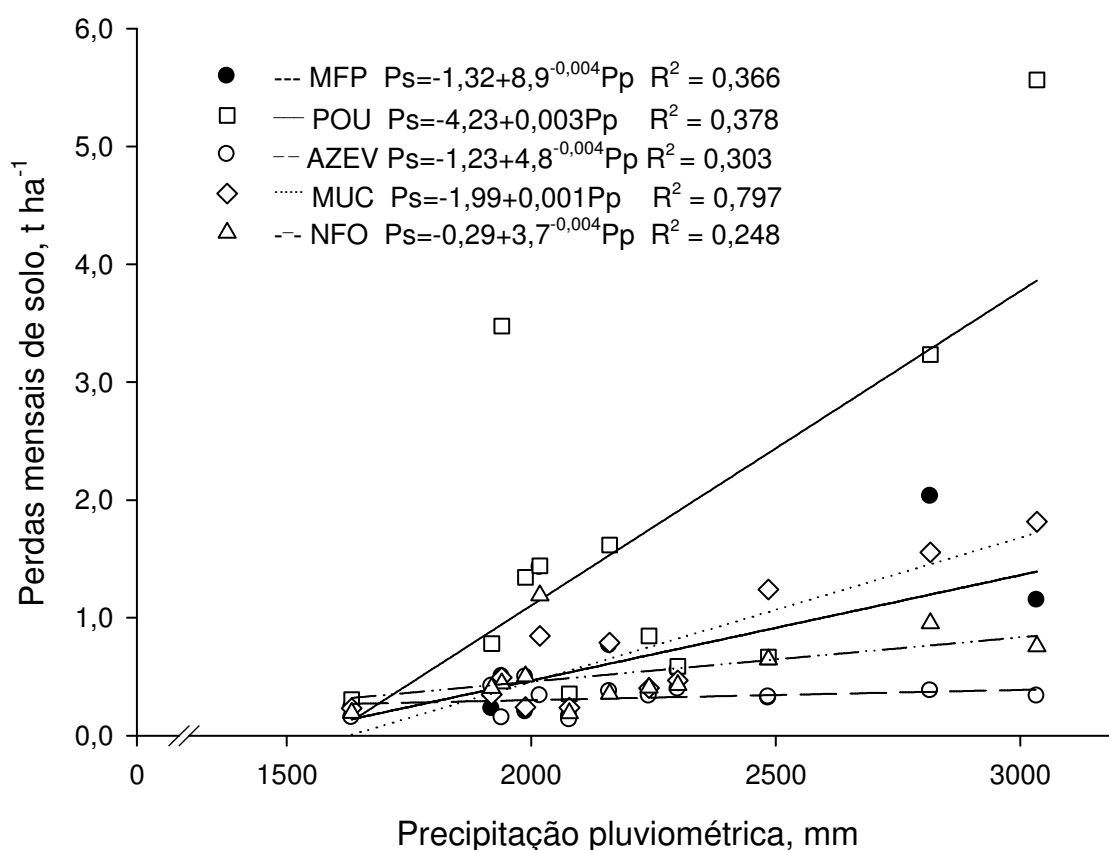


Figura 23. Relação entre precipitação pluviométrica mensal e perdas de solo mensais médias em diferentes sistemas de culturas sob plantio direto, no período de abril de 1992 a março de 2008, em Santa Maria – RS. (MFP: milho + feijão de porco/soja; POU: milho/pousio/soja/pousio; AZEV: milho/azevém + ervilhaca/soja/azevém + ervilhaca; MUC: milho + mucuna/soja; NFO: milho/nabo forrageiro/soja/nabo forrageiro).

A maior correlação foi encontrada para o tratamento MUC ($R^2=0,797$), enquanto para os demais, este índice variou entre 0,248 e 0,378. Baixos valores de correlação entre perdas de solo e altura total de precipitação são encontrados com maior frequência em experimentos que utilizam chuva natural, em comparação com os que utilizam chuva simulada, pois nestes há um melhor controle das condições de umidade do solo antecedente a ocorrência das precipitações (Bertol et al., 2002).

Na Figura 24 é apresentada a relação entre os valores mensais de perdas de solo em cada tratamento, e os valores médios mensais de índice de erosividade da chuva.

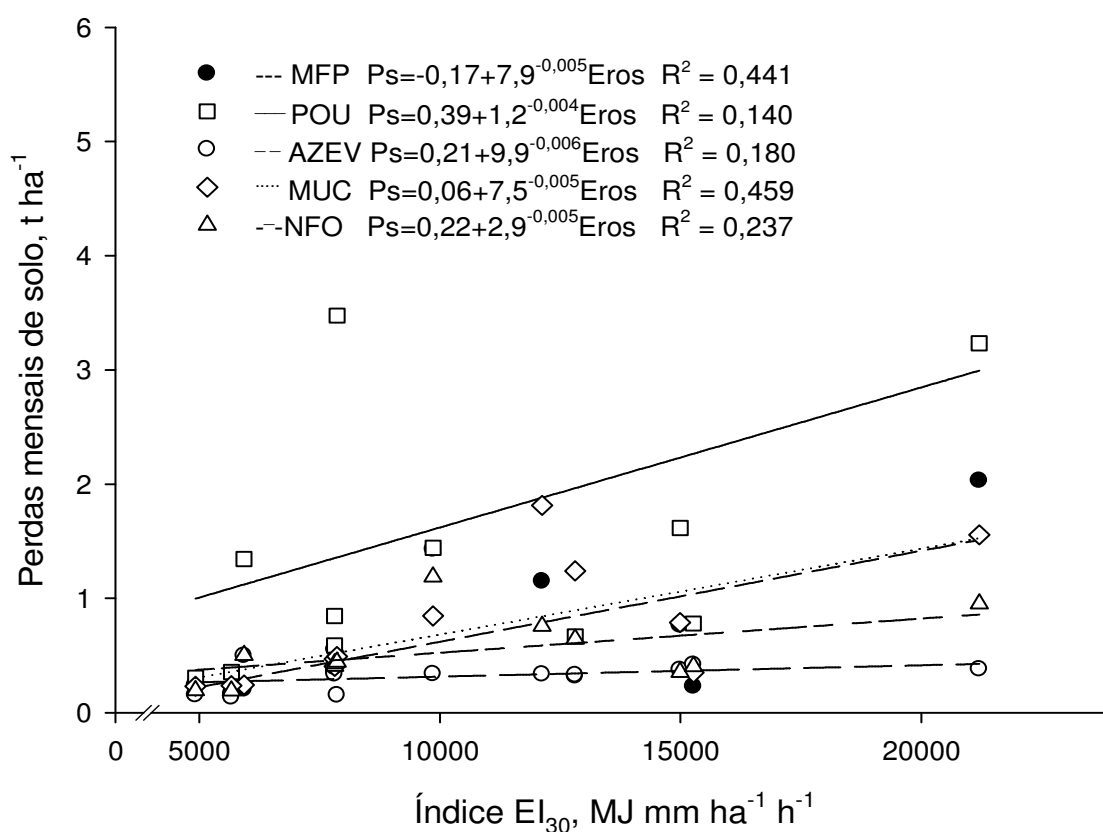


Figura 24. Relação entre o índice de erosividade da chuva mensal e perdas de solo mensais médias em diferentes sistemas de culturas sob plantio direto, implantadas em um Argissolo Vermelho, no período de abril de 1992 a março de 2008, em Santa Maria – RS. (MFP: milho + feijão de porco/soja; POU: milho/pousio/soja/pousio; AZEV: milho/azevém + ervilhaca/soja/azevém + ervilhaca; MUC: milho + mucuna/soja; NFO: milho/nabo forrageiro/soja/nabo forrageiro).

As perdas mensais de solo constatadas em cada tratamento apresentaram de maneira geral, baixos índices de determinação R^2 com a erosividade mensal da chuva. De maneira semelhante ao que ocorreu com a relação entre as perdas de solo e a altura total de precipitação, a erosividade da chuva pode ser um melhor indicativo das perdas de solo quando avaliada a cada evento isoladamente, ao invés de analisar um período de tempo ou um grupo de eventos e suas respectivas erosividades. Deve ser considerado, ainda, que se a maior parte da erosividade da chuva se concentrar no período de pleno desenvolvimento vegetativo das culturas, as perdas de solo tenderão a ser pequenas, enquanto que, se a erosividade da chuva se concentrar no período de implantação e estabelecimento das culturas, as perdas de solo serão elevadas, mesmo em anos de baixa erosividade total (Cassol et al., 2004). Conclusões semelhantes foram obtidas por Debarba & Amado (1997) e Seganfredo et al. (1997).

Considerando que num ano agrícola sejam realizados dois cultivos, um de outono-inverno e outro de primavera-verão, correspondente aos períodos entre os meses de abril a setembro e de outubro a março, períodos 1 e 2, respectivamente, nas Figuras 25 e 26 são apresentados os valores de perdas de solo totais verificados no período 1 e no período 2, durante a execução do experimento.

O período 1 é destinado ao cultivo das culturas de cobertura de inverno como a ervilhaca, o azevém, o nabo forrageiro, entre outras, e também ao cultivo de cereais de inverno como trigo, aveia, centeio e cevada. É neste período também que se pode manter a área da lavoura em pousio, sem culturas, até que se inicie um novo ciclo de verão. Durante os meses de abril a setembro, como se espera em locais de clima tipo Cfa, as temperaturas estão mais baixas em relação ao período de outubro a março. Há maior umidade relativa do ar, menor radiação solar global incidente, menor demanda evaporativa da atmosfera e, em consequência, em função da distribuição anual das precipitações, o solo encontra-se com maior disponibilidade de água e por mais tempo próximo a sua saturação, em comparação ao período subsequente. Este conjunto de variáveis climáticas predispõe a ocorrência de escoamento superficial e enxurradas, principalmente em solos rasos e com baixa taxa de infiltração de água, ainda mais quando associado a prática do pousio, onde não há consumo de água por plantas.

O início do período 2 coincide com o período destinado ao preparo do solo e plantio das culturas de verão, para as condições locais do presente estudo. Dessa maneira, é um período de fundamental importância para que se obtenha uma lavoura com germinação uniforme das plantas e adequado “stand” populacional.

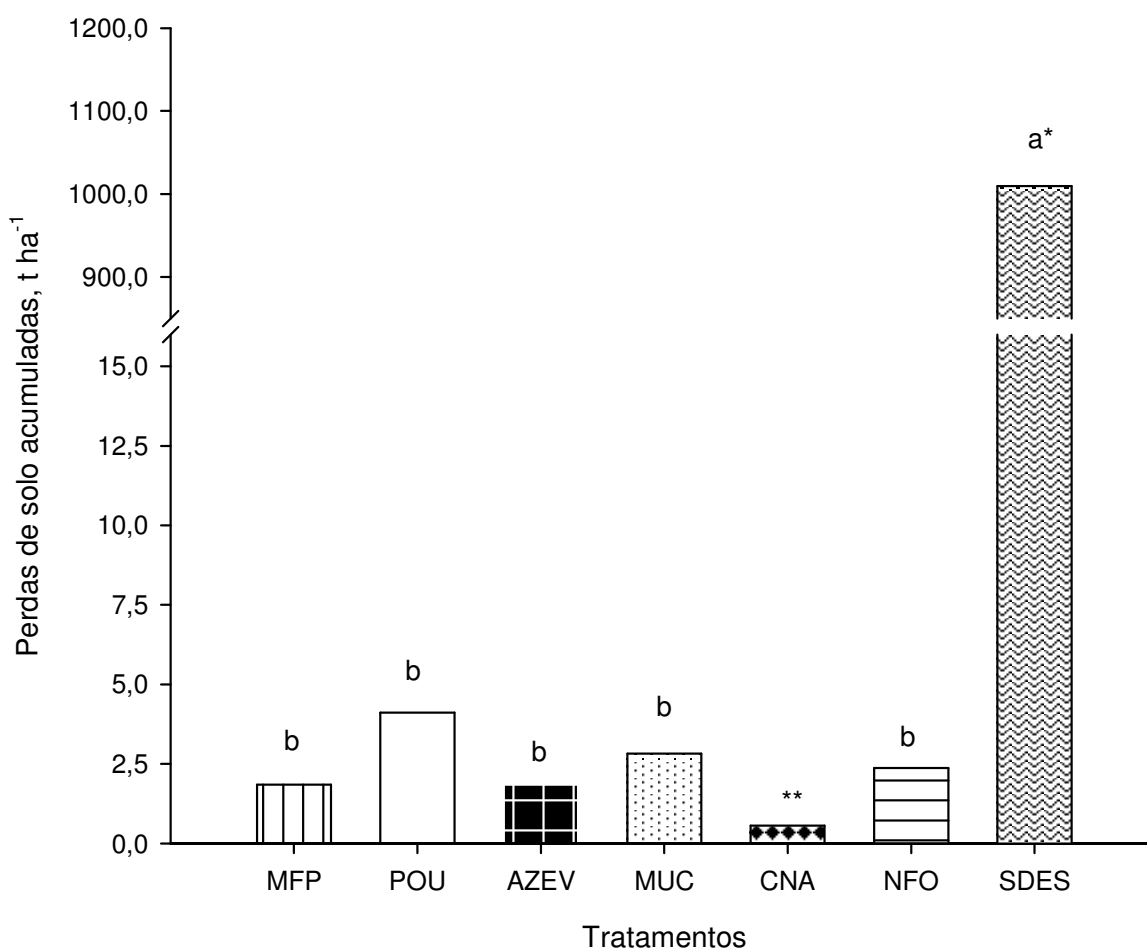


Figura 25. Perdas de solo acumuladas no período abril-setembro, em 16 anos de condução de um experimento com diferentes sistemas de culturas em plantio direto, em solo descoberto e num campo nativo. (MFP: milho + feijão de porco/soja; SDES: solo descoberto; POU: milho/pousio/soja/pousio; AZEV: milho/azevém + ervilhaca/soja/azevém + ervilhaca; MUC: milho + mucuna/soja; CNA: campo nativo; NFO: milho/nabo forrageiro/soja/nabo forrageiro). *Barras seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$). **Não avaliado no teste estatístico.

No início do período a cobertura do solo ainda não está completa, especialmente em lavouras que permaneceram anteriormente em pousio invernal, precedido do cultivo da soja. Ainda, deve ser considerado que as plantas demandam certo tempo até que proporcionem o fechamento das entrelinhas, dependente do espaçamento utilizado no plantio. Estas características podem transformar-se em fatores agravantes e promotores de erosão hídrica e/ou formação de enxurradas.

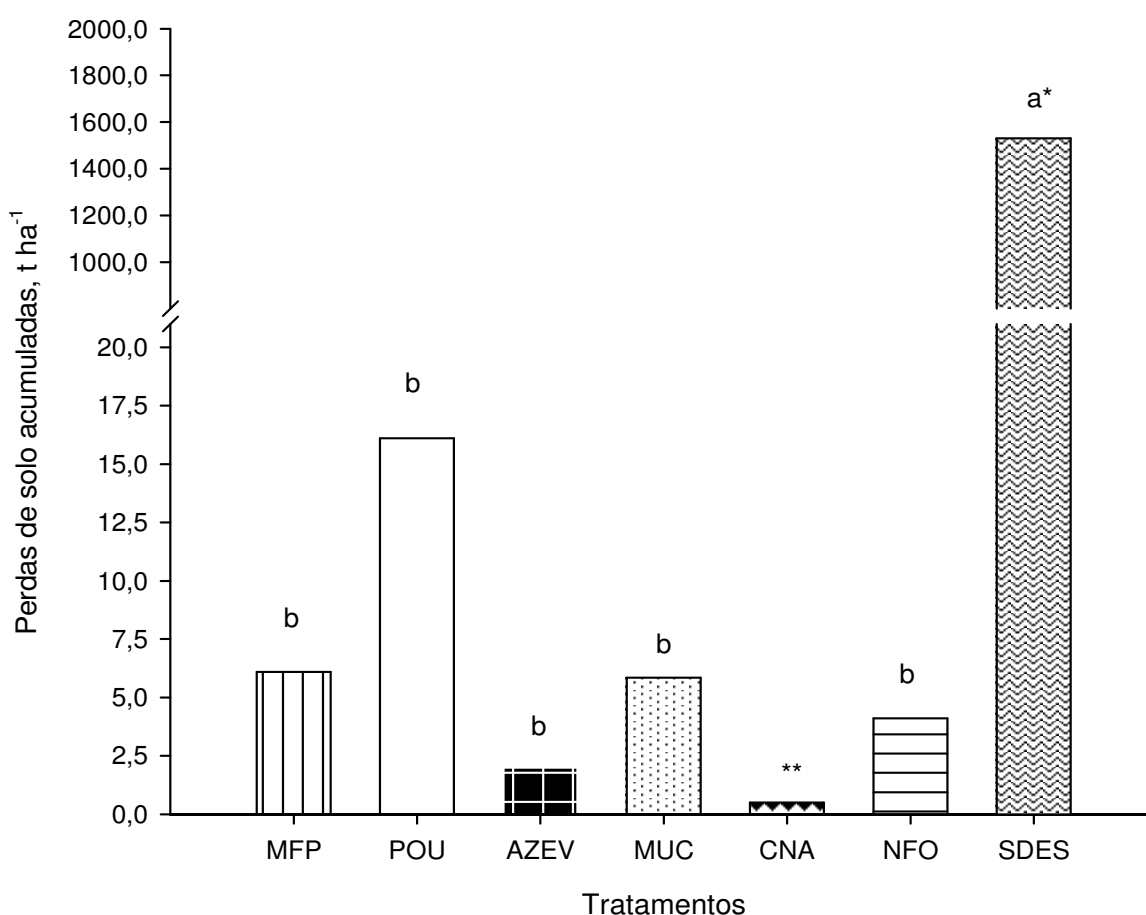


Figura 26. Perdas de solo acumuladas no período outubro-março, em 16 anos de condução de um experimento com diferentes sistemas de culturas em plantio direto, em solo descoberto e num campo nativo. (MFP: milho + feijão de porco/soja; SDES: solo descoberto; POU: milho/pousio/soja/pousio; AZEV: milho/azevém + ervilhaca/soja/azevém + ervilhaca; MUC: milho + mucuna/soja; CNA: campo nativo; NFO: milho/nabo forrageiro/soja/nabo forrageiro). *Barras seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$). **Não avaliado no teste estatístico.

O comportamento e a análise estatística demonstraram semelhanças entre os dois períodos avaliados, sendo as maiores perdas de solo constatadas no tratamento SDES em ambos. A magnitude dos valores obtidos em cada período, porém, foram distintos, sendo constatados no período 2 os maiores valores, em especial para os tratamentos SDES e POU (Figura 27).

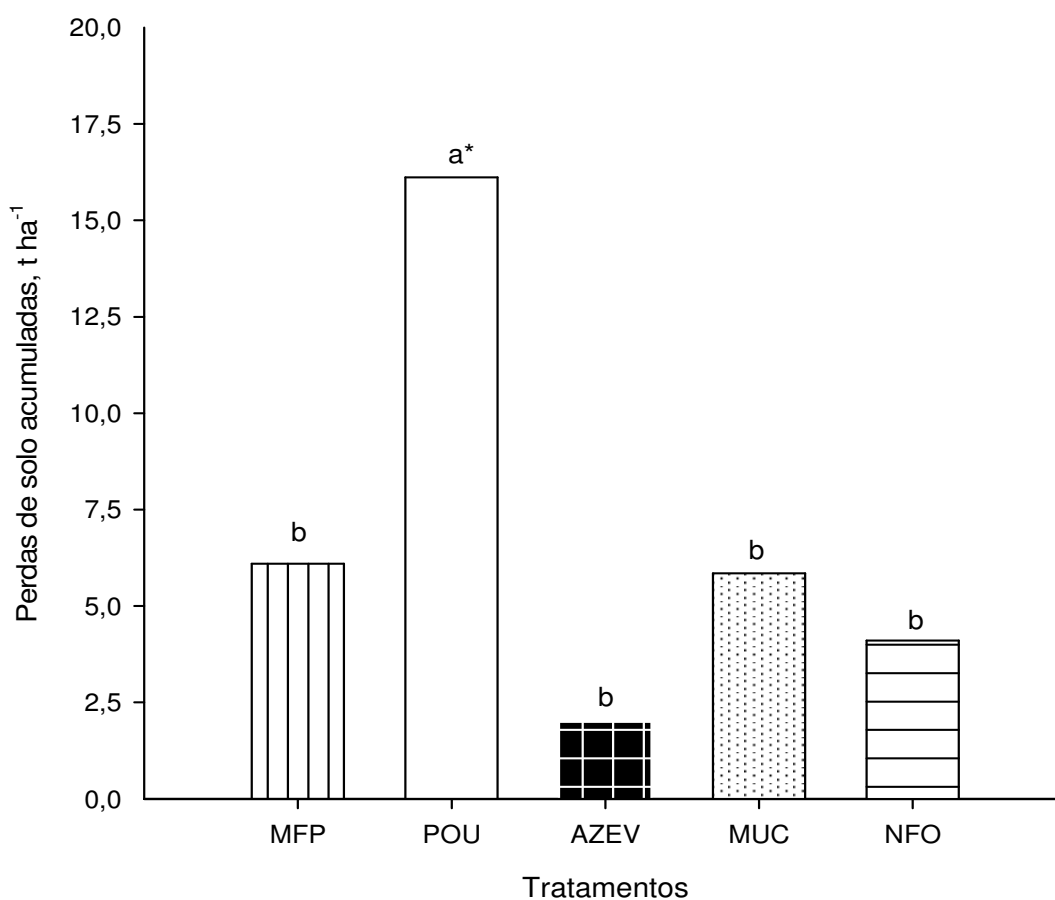


Figura 27. Perdas de solo acumuladas no período outubro-março, em 16 anos de condução de um experimento, em um Argissolo Vermelho com diferentes sistemas de culturas sob plantio direto. (MFP: milho + feijão de porco/soja; POU: milho/pousio/soja; AZEV: milho/azevém + ervilhaca/soja; MUC: milho + mucuna/soja; NFO: milho/nabo forrageiro/soja). *Barras seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

Nos tratamentos que envolveram culturas implantadas em plantio direto (excluindo da análise o SDES e o CNA), as perdas de solo acumuladas no período

2, durante a execução do experimento, apresentaram o sistema de culturas que utiliza pousio no inverno como o tratamento que mais perdeu solo por erosão hídrica (Figura 27). O resultado obtido pode ser atribuído principalmente à baixa cobertura vegetal durante os primeiros meses do período, e também à mudança dos padrões de chuva que ocorrem normalmente no período, onde as mesmas passam de uma condição de menor intensidade (e erosividade) para uma condição de maior volume e intensidade (Eltz et al., 1992). Segundo Silva et al. (2007), a distribuição estacional da altura das chuvas em Santa Maria é muito semelhante entre si, sendo porém variável outras características físicas da chuva entre as estações.

A relação entre as perdas de solo verificadas no tratamento SDES e a precipitação pluviométrica, nos totais acumulados nos períodos 1 e 2, é apresentada na Figura 28.

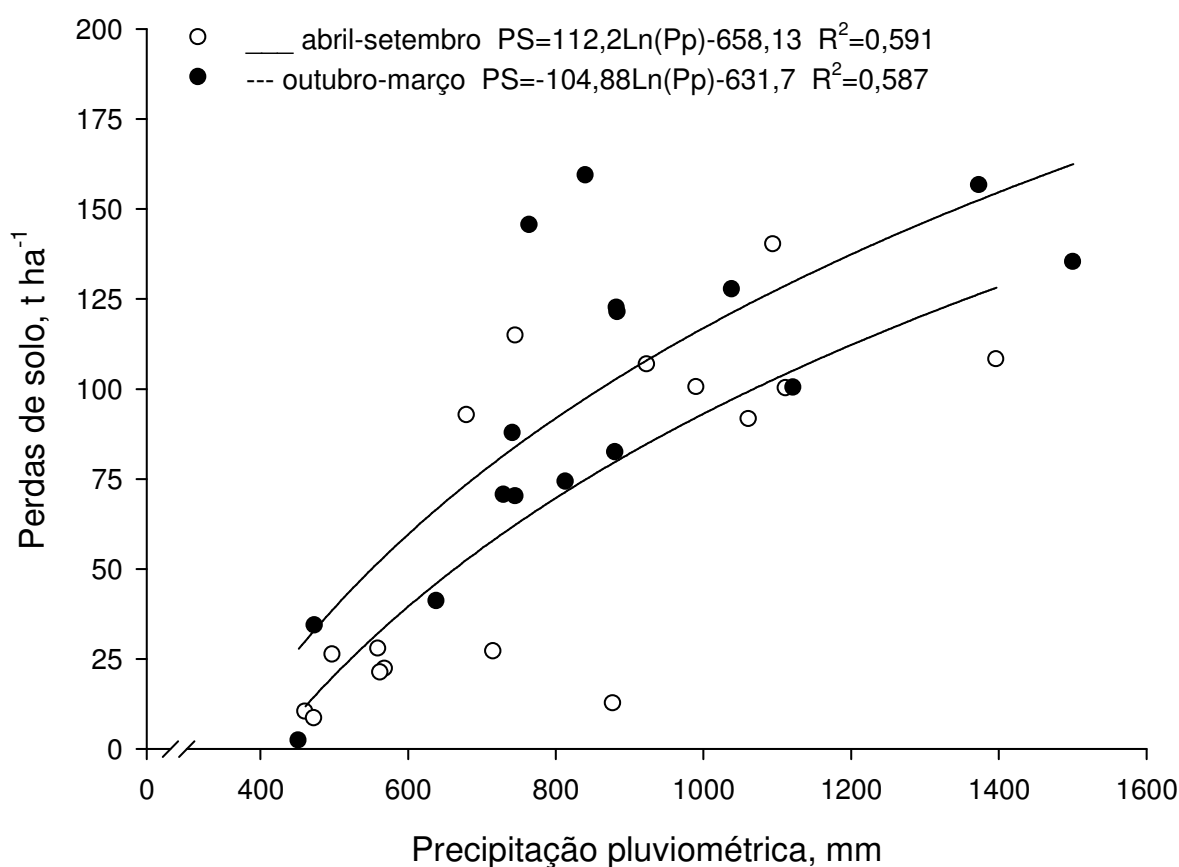


Figura 28. Relação entre perdas de solo verificadas no tratamento SDES e precipitação pluviométrica ocorrida nos períodos 1 (abril-setembro) e 2 (outubro-março) em Santa Maria –RS, considerando os totais acumulados em cada um dos 16 anos de avaliação do experimento.

O coeficiente de correlação entre a precipitação pluviométrica e as perdas de solo ocorridas no período 1 foi mais significativo do que o verificado no período 2, podendo ser reflexo da ocorrência de chuvas mais freqüentes e de menor intensidade, e pelo fato de que o solo provavelmente dispunha de maior quantidade de umidade disponível neste período, devido principalmente as condições climáticas da atmosfera anteriormente citadas. A erosividade total anual da chuva, calculada pelo índice EI_{30} , apresentou menor índice de correlação (R^2) com as perdas de solo totais anuais verificadas na parcela padrão (Figura 29) do que a constatada entre as perdas de solo totais e precipitação pluviométrica total ocorrida no mesmo período (Figura 28).

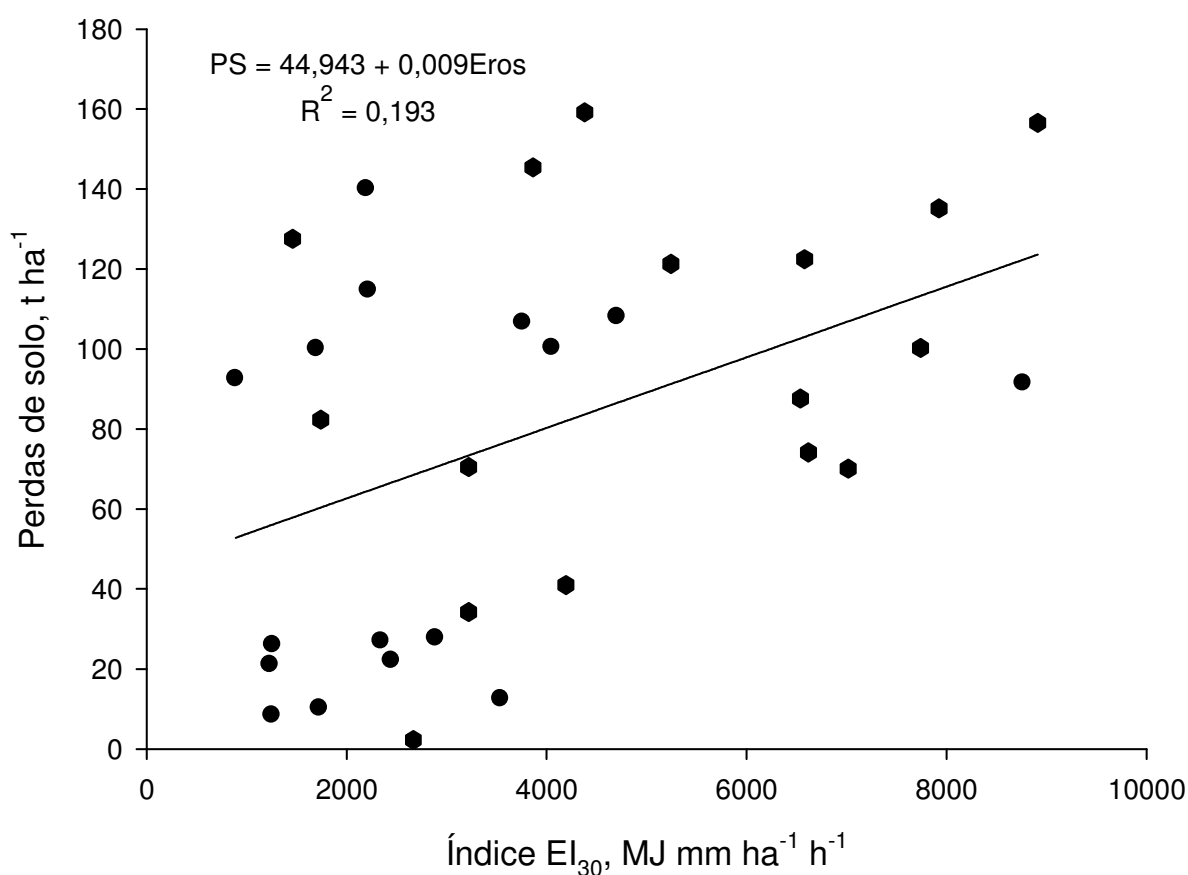


Figura 29. Relação entre a erosividade total anual da chuva (EI_{30}) e perdas totais de solo verificadas na parcela padrão de experimentos de perdas de solo, em um Argissolo Vermelho de Santa Maria – RS.

A erosividade da chuva pode ser um bom indicador das perdas de solo em um determinado local, principalmente devido ao fato de que esta considera a intensidade de cada chuva em 30 minutos mais importante do que a sua quantidade total e todo o período de duração. Segundo Wischmeier & Smith (1958) o índice EI_{30} é um dos parâmetros de chuva que melhor se correlacionam com as perdas de solo. Entretanto, Cabral et al. (2005) citam que o modelo proposto por Wischmeier & Smith (1958) subestima a energia cinética das gotas de chuva, desconsidera a ação do vento, a distribuição do tamanho das gotas e parte do volume precipitado. Outros fatores podem explicar baixas correlações entre perdas de solo e erosividade da chuva dada pelo índice EI_{30} , como por exemplo, a falta de conhecimento das características físicas da chuva (Wischmeier, 1959).

A relação entre as perdas de solo nos períodos 1 e 2 no SDES e as erosividades das chuvas nos mesmos períodos, é apresentada na Figura 30.

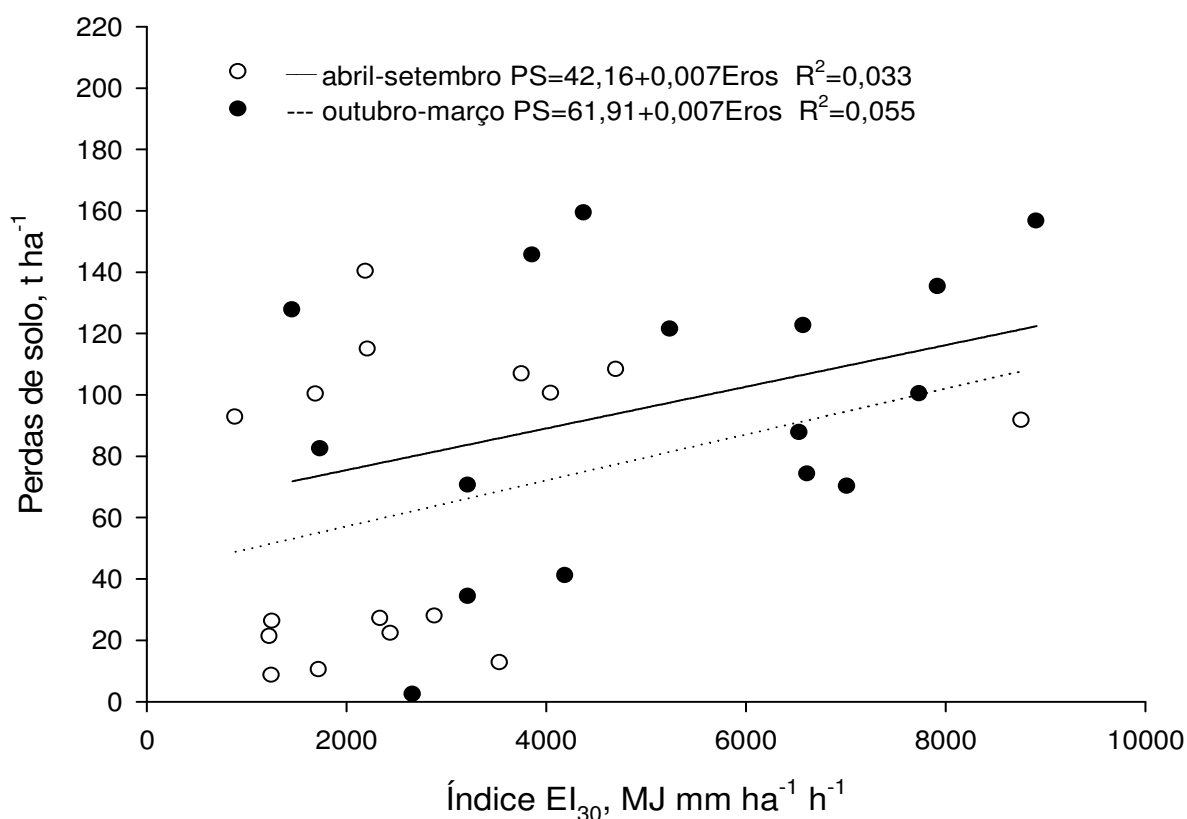


Figura 30. Relação entre a erosividade total da chuva nos períodos abril-setembro e outubro-março, e perdas totais de solo verificadas em solo descoberto.

Assim como fora constatado para os valores totais anuais, a distinção entre os dois períodos agrícolas durante o ano não melhorou a significância da relação entre o índice de erosividade da chuva e as perdas de solo verificadas na parcela padrão.

Bertol (1994), Bertol (1995), Schick (1999), Beutler (2000) e Bertol et al. (2002) também obtiveram baixos índices de determinação R^2 entre erosividade da chuva e perdas de solo em parcela padrão, quando utilizaram chuva natural. Já com chuva simulada, Bertol et al. (2007) obtiveram coeficiente R^2 de 0,79 para a relação entre as mesmas variáveis citadas anteriormente, utilizando 11 testes controlados, em um Nitossolo Háplico. A explicação para tanta variação nos valores obtidos entre erosividade da chuva e perdas de solo é devida as condições naturais de variabilidade da umidade do solo antecedente a cada chuva natural, o que influencia diretamente a infiltração de água, o escoamento superficial e a formação de enxurradas, e conseqüentemente as perdas de solo e água. A distribuição relativa das perdas de solo da parcela padrão, assim como a precipitação pluviométrica e a erosividade da chuva, nos dois períodos durante o ano, é apresentada na Figura 31.

O período de abril a setembro registrou, pela análise dos 16 anos de execução do experimento e coleta de dados, o menor índice de erosividade e perdas de solo relativas durante o ano.

A variável que apresentou distribuição mais uniforme foi a precipitação pluviométrica, concordando com as conclusões de Silva et al. (2007), que obtiveram precipitações de aproximadamente 25% para cada estação durante o ano, em Santa Maria – RS. O período 1 apresentou precipitação total apenas 2,18% menor do que a verificado no período 2, enquanto a erosividade foi 28,8% inferior ao do segundo período, e a perda de solo foi 33,99% inferior.

A erosividade da chuva no período de outubro a março foi expressivamente maior do que a verificada no período de abril a setembro, concentrando aproximadamente 65% do seu total neste período, fato promovido pela maior intensidade das chuvas ocorridas, mesmo que o volume total tenha sido semelhante em ambos os períodos.

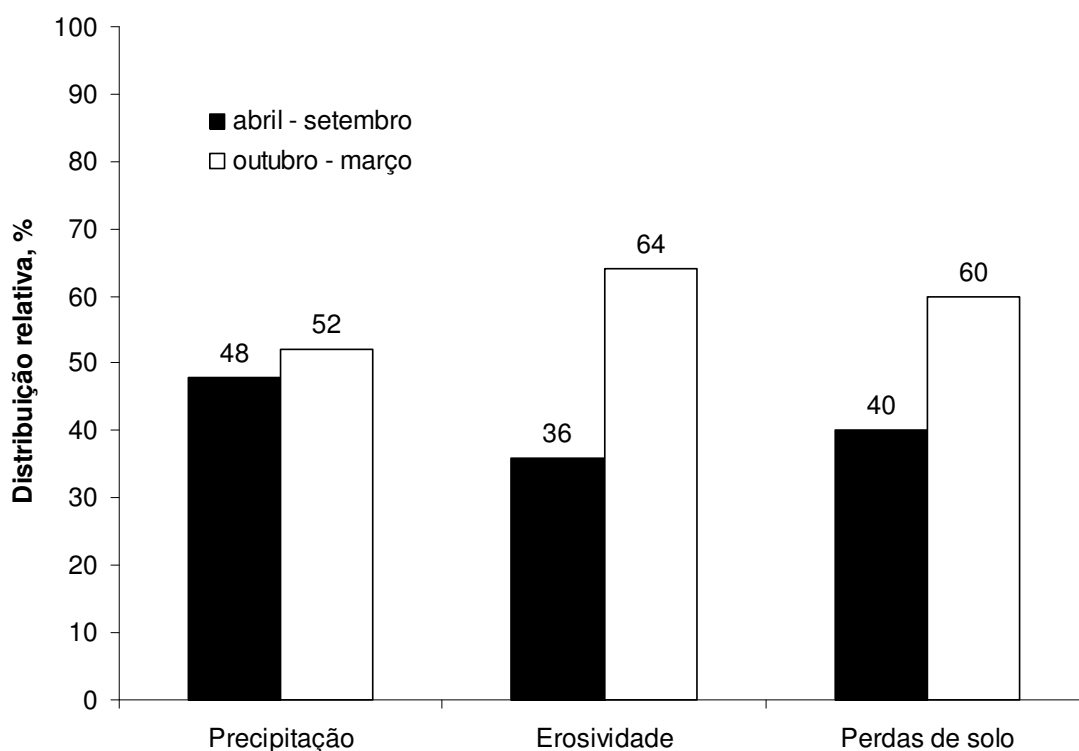


Figura 31. Distribuição relativa dos valores totais de precipitação pluviométrica, índice de erosividade da chuva, e perdas de solo no tratamento solo descoberto, em dois períodos durante o ano agrícola (abril-setembro e outubro-março).

Esta característica relacionada ao potencial erosivo da chuva assume fundamental importância, devido ao fato de que as principais culturas de interesse econômico no RS são implantadas e desenvolvidas no período que coincide com o de maior erosividade da chuva (outubro – março). Fator agravante da ocorrência de erosão hídrica é encontrado em áreas onde se necessita ou se utiliza a prática do preparo convencional do solo para realização do plantio das culturas, expondo a superfície do solo à ação desagregante do impacto das gotas de chuva.

Cogo et al. (2006) avaliaram a precipitação pluviométrica e o potencial erosivo das chuvas de Santa Maria – RS, durante o período de 1963 a 2000, e encontraram concentração de 58,5 e 69,1% da precipitação e erosividade da chuva, respectivamente, para o período de outubro a abril. A menor erosividade constatada no período de avaliação pelos autores ocorreu no mês de agosto, com valor médio de $362,8 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$, enquanto o maior valor foi verificado no mês de janeiro, com $1071 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$.

Para as perdas de solo, a proporção entre os valores encontrados nos períodos 1 e 2 aproximou-se da relação 1:1,5, ou seja, para cada 1 t de solo perdido por hectare no período 1, perdeu-se 1,5 t por hectare no período 2. A quantidade de solo perdida das lavouras representa, além do impacto ambiental provocado nos mananciais de água, considerável perda de nutrientes, oriundos, em grande parte, de fonte externa à propriedade, aumentando os custos de produção e potencializando possível eutrofização da água. Bertol et al. (2007a) encontraram valor monetário de U\$ 14,83 por hectare, referente à perda de nutrientes por erosão hídrica ocorrida em um Cambissolo Húmico submetido ao sistema de plantio direto; quando utilizado o sistema de preparo convencional, este valor passou para U\$ 24,94.

As perdas de solo totais acumuladas em 16 anos contínuos de adoção do sistema plantio direto, nos sistemas de culturas estudados, assim como a verificada no campo nativo e na parcela padrão do experimento de perdas de solo, são apresentadas na Figura 32.

Na comparação com o sistema que utilizou leguminosa no inverno (AZEV), cuja perda de solo verificada foi a menor entre os tratamentos em SPD (3,84 t ha⁻¹), o solo descoberto (SDES) apresentou perdas de solo superior em 661,2 vezes, o que demonstra claramente o potencial de diferentes sistemas de culturas em plantio direto no controle à erosão hídrica do solo.

A manutenção do solo descoberto (SDES) apresentou perdas de solo em escala de milhares de toneladas por hectare, resultando na remoção de uma camada de solo de aproximadamente 0,16 m (Tabela 21). É a situação que evidencia o potencial que a erosividade da chuva tem em causar degradação do solo, e fornece parâmetros comparativos, sendo esta a mais severa situação que o tipo de solo em estudo poderia enfrentar. Esta é a condição estabelecida nos experimentos de perdas de solo e água, também chamada de parcela padrão da Equação Universal de Perdas de Solo - USLE (Wischmeier & Smith, 1978).

O valor da perda de solo acumulada neste tratamento (2.539,73 t ha⁻¹), ou seja, na condição em que ocorreu a potencialização à erosão hídrica, foi aproximadamente 2384 vezes maior do que a perda verificada no tratamento em que se manteve a vegetação natural (CNA) cobrindo o solo (1,065 t ha⁻¹). Em comparação com o tratamento que utilizou sistemas de culturas no verão e pousio

no inverno (POU), que foi o tratamento em SPD que apresentou maior perda de solo (Tabela 20), o tratamento SDES apresentou perda de solo 125,7 vezes maior.

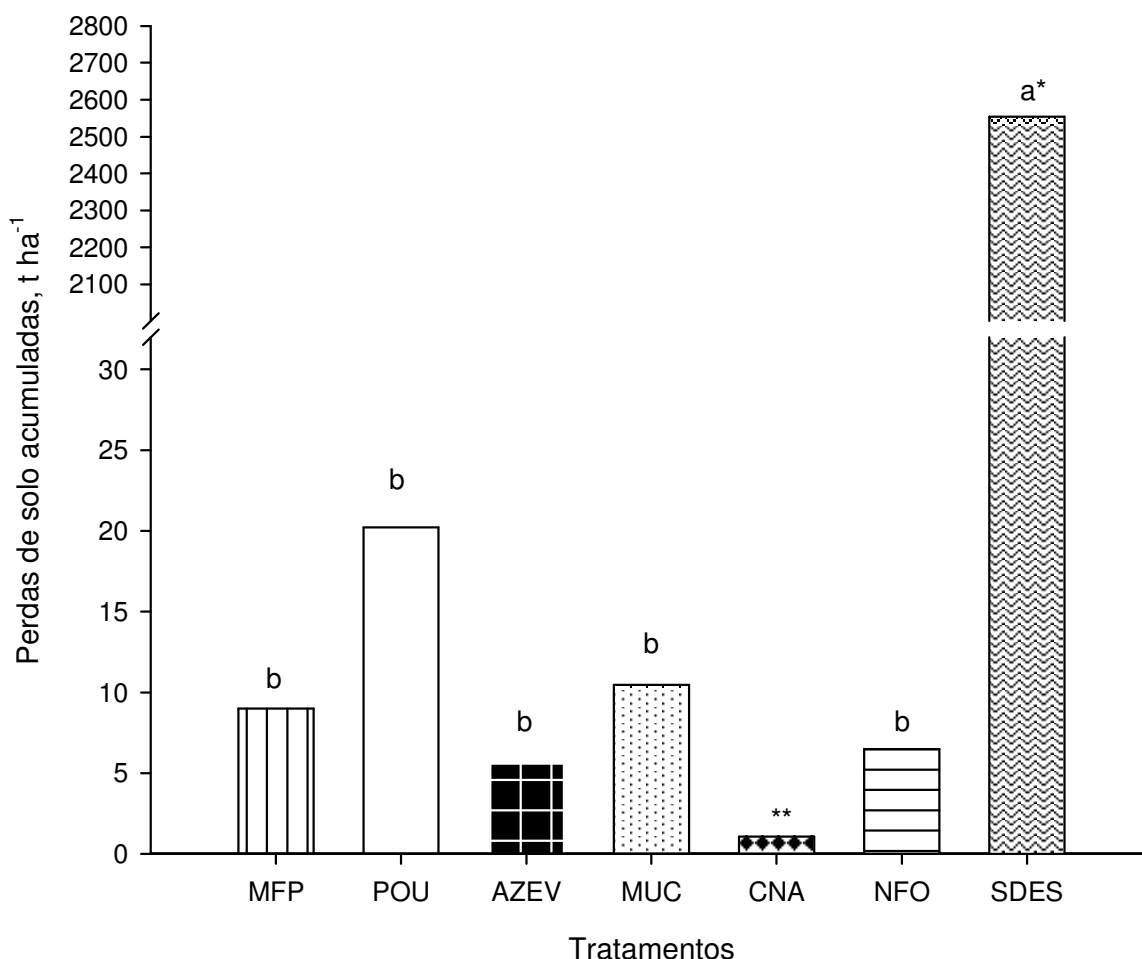


Figura 32. Perdas de solo acumuladas em 16 anos de condução de um experimento com diferentes sistemas de culturas sob plantio direto, em solo descoberto e em campo nativo, em um Argissolo Vermelho de Santa Maria, RS. (MFP: milho + feijão de porco/soja; SDES: solo descoberto; POU: milho/pousio/soja/pousio; AZEV: milho/azevém + ervilhaca/soja/azevém + ervilhaca; MUC: milho + mucuna/soja; CNA: campo nativo; NFO: milho/nabo forrageiro/soja/nabo forrageiro). *Barras seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$). **Não avaliado no teste estatístico.

A Tabela 21 apresenta uma estimativa do saldo entre taxa de formação e taxa de perda de solo verificadas nos diferentes tratamentos, assim como uma aproximação da camada de solo perdida e o tempo necessário para ocorrer a perda da camada de 0,0 – 0,10 m de profundidade.

Tabela 21. Balanço entre taxa de formação e taxa de perdas de solo, em diferentes sistemas de culturas sob plantio direto, em um campo nativo e num solo descoberto, num experimento de perdas de solo e água implantados em um Argissolo Vermelho de Santa Maria – RS

Tratamento	Taxa de formação do solo ¹	Perdas de solo acumuladas ²	Taxa de perdas de solo ³	Camada de solo perdida ⁴	Saldo anual (formação – perdas) ⁵	Tempo (perda de 0,10 m de solo) ⁶
	mm ano ⁻¹	t ha ⁻¹	t ha ⁻¹ ano ⁻¹	mm ano ⁻¹	mm ano ⁻¹	anos
MFP	0,2	7,939	0,496	0,04	+ 0,16	-
SDES	0,2	2539,728	158,733	10,24	- 10,04	9,7
POU	0,2	20,215	1,264	0,10	+ 0,10	-
AZEV	0,2	3,839	0,239	0,01	+ 0,19	-
MUC	0,2	8,669	0,541	0,04	+ 0,16	-
CNA	0,2	1,065	0,066	0,006	+ 0,194	-
NFO	0,2	6,476	0,405	0,03	+ 0,17	-

MFP: Milho + feijão de porco/soja; SDES: Solo descoberto; POU: Milho/pousio/soja/pousio; AZEV: Milho/azevém + ervilhaca/soja/azevém + ervilhaca; MUC: Milho + mucuna/soja; CNA: Campo nativo; NFO: Milho/nabo forrageiro/soja/nabo forrageiro. ¹Segundo Sparovek et al. (1997), o tempo para formação de 0,01 m de espessura de solo é de aproximadamente 50 anos. ²Perdas de solo acumuladas em 16 anos de condução do experimento, compreendendo o período de março de 1992 a abril de 2008. ³Produto da divisão das perdas totais acumuladas pelos 16 anos de obtenção e coleta de dados. ⁴Calculado com base na espessura e densidade da camada 0,0 – 0,05 m, de cada tratamento (Tabela 3). ⁵Resultado da subtração da taxa de perda anual de solo pela taxa de formação, para cada tratamento. ⁶Tempo estimado para ocorrer a perda de uma camada de 0,10 m de espessura nas condições de solo descoberto.

A exposição da superfície do solo à ação erosiva da chuva resultou numa taxa de perda de solo de 158,733 t ha⁻¹ ano⁻¹ (SDES), proporcionando um saldo negativo entre a taxa de formação de solo e a taxa de perda. Dessa maneira, em apenas 16 anos de adoção deste manejo continuamente, uma camada de aproximadamente 0,16 m de espessura foi removida neste tratamento. Em situação oposta, o sistema de culturas AZEV apresentou diminuta taxa de perda, 0,239 t ha⁻¹ ano⁻¹.

Com exceção do solo continuamente descoberto, todos os demais tratamentos foram eficientes em conservar o solo em níveis aceitáveis, pois apresentaram saldo anual positivo na comparação entre as estimativas de taxa de formação e taxa de perda de solo e, ao mesmo tempo, em níveis bem abaixo da tolerância de perdas ($6 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) para o tipo de solo em estudo (Bertoni & Lombardi Neto, 1990). Bertol & Almeida (2000) encontraram, para Argissolo Vermelho-amarelo, tolerância de perdas de solo de $0,58 \text{ mm ano}^{-1}$, em Santa Catarina. A tolerância de perdas de solo pode ser definida levando em consideração não apenas a taxa de formação natural do solo, mas também a manutenção da capacidade produtiva do solo em níveis aceitáveis, a profundidade do perfil do solo e a relação textural entre horizontes do solo (Bertoni & Lombardi Neto, 1990).

Os sistemas de culturas AZEV, NFO e MFP apresentaram, segundo a estimativa, acúmulo de aproximadamente $0,19$, $0,17$ e $0,16 \text{ mm ano}^{-1}$. O sistema de pousio invernal intercalar ao cultivo de soja e milho no verão (POU) foi o tratamento que apresentou a maior taxa anual de perdas de solo ($0,1 \text{ mm ano}^{-1}$) entre os tratamentos sob plantio direto, sendo este valor situado próximo à metade ao valor estimado para a taxa de formação do solo ($0,2 \text{ mm ano}^{-1}$) (Sparovek et al., 1997).

Com relação à camada de solo removida pela ação da erosão hídrica, o valor estimado de aproximadamente $0,16 \text{ m}$ de espessura, no tratamento que manteve o solo permanentemente descoberto (SDES), demonstra o potencial de impacto ambiental que um manejo de solo inadequado pode causar.

Algumas práticas realizadas no manejo do solo descoberto continuamente são recorrentes, como por exemplo, as capinas de manutenção, onde freqüentemente se faz dessecação com herbicidas para a manutenção da área sem cobertura vegetal. A utilização de produtos químicos para controlar as ervas daninhas promoveu, em consequência, uma redução momentânea nas perdas de solo e água, pois, com esta operação, não ocorreu o revolvimento do solo com a enxada, utilizada na capina manual. Apesar da mobilização mecânica realizada com enxada ser localizada diretamente sobre a ocorrência das ervas daninhas, visualmente foi observada redução nas perdas de solo após alguns eventos, enquanto, para as perdas de água, esta constatação não ocorreu de maneira semelhante.

A elevada quantidade de solo perdido no tratamento SDES é decorrente da falta de cobertura do solo e proteção da superfície, que, principalmente após as operações de preparo e manejo, está totalmente exposta à ação desagregante do impacto das gotas de chuva. Além destes fatores, alia-se a declividade na parcela e o sentido das operações realizadas em seu manejo, que também acompanharam o sentido da declividade. Os resultados das avaliações de resistência do solo ao penetrômetro e taxa de infiltração de água (Figuras 4 e 6, respectivamente) e das avaliações de macroporosidade e densidade do solo (Tabela 3), caracterizam a provável ocorrência do selamento dos poros superficiais do solo, determinando baixa infiltração de água e conseqüente formação de enxurradas, fator este promotor de erosão hídrica. Comumente também se observou a formação de sulcos de erosão nas parcelas deste tratamento, principalmente após chuvas de elevada intensidade. Tal fato pode ter sido responsável pela baixa relação de dependência entre as perdas de solo e a erosividade da chuva, como fora apresentado nas Figuras 29 e 30.

Conclusão semelhante ao do presente estudo foi obtida por Cogo et al. (2003), que, ao avaliarem o efeito de sistemas de preparo, classes de declividade e níveis de fertilidade, nas perdas de solo e água de um Latossolo Vermelho, obtiveram perdas de solo de até 80 t ha^{-1} durante um único ciclo de cultivo, numa parcela com solo sem culturas e preparado no sentido da declividade. Os autores atribuíram o resultado principalmente ao efeito do revolvimento do solo e à formação do selamento superficial pelo impacto das gotas de chuva.

Perdas expressivas de solo também foram encontradas por Beutler et al. (2003), que obtiveram na parcela padrão (solo descoberto e sem cultivo), num Latossolo Vermelho, perda de aproximadamente 115 t ha^{-1} de solo durante um único período outono/inverno, e atribuíram o resultado à maior umidade do solo nesta época do ano, nas condições do estudo, e pelo fato de que o manejo realizado na parcela (preparo convencional no sentido do declive) potencializou o processo erosivo e as perdas de solo e água.

A Figura 33 apresenta as perdas de solo nos tratamentos em que o sistema plantio direto foi utilizado, e a sua comparação com a condição original do solo antes da implantação do experimento, considerando que o solo mantido nesta condição estava em dinâmico equilíbrio químico, físico e biológico e, que alterações significativas não ocorreram naturalmente em curto período de tempo.

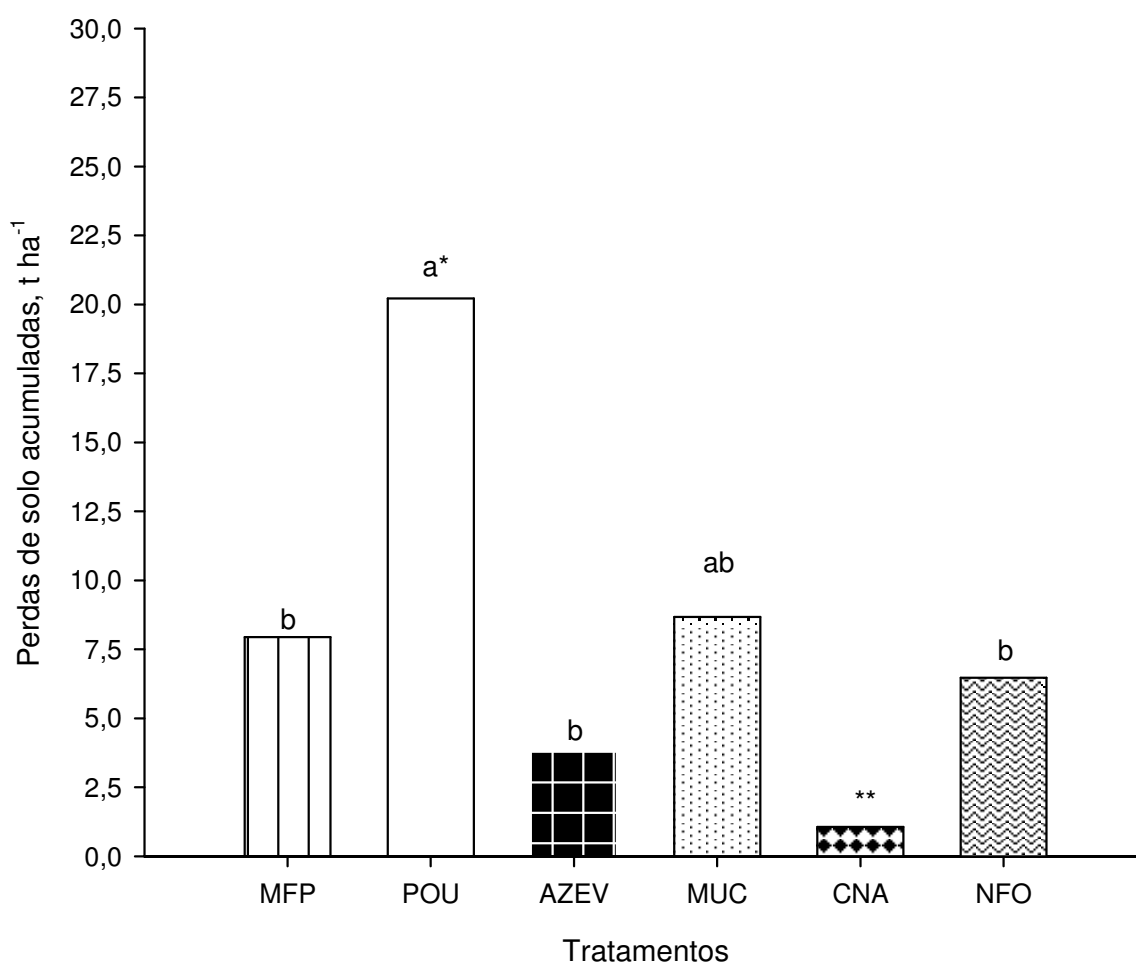


Figura 33. Perdas de solo acumuladas em 16 anos de condução de um experimento com diferentes sistemas de culturas sob plantio direto, e num campo nativo, em um Argissolo Vermelho de Santa Maria, RS. (MFP: milho + feijão de porco/soja; POU: milho/pousio/soja/pousio; AZEV: milho/azevém + ervilhaca/soja/ azevém + ervilhaca; MUC: milho + mucuna/soja; CNA: campo nativo; NFO: milho/nabo forrageiro/soja/nabo forrageiro). *Barras seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$). **Não avaliado no teste estatístico.

A utilização de pousio invernal (POU), sem cultivos de outono-inverno, entre um ciclo de culturas de verão e outro, ao final de 16 anos, proporcionou a maior perda de solo entre os sistemas de culturas avaliados, não diferindo, porém, do tratamento MUC, que, por sua vez, não diferiu dos demais.

De maneira geral, os tratamentos sob plantio direto apresentaram reduzidas perdas de solo, em comparação com o solo descoberto, com valores variando de 20,22 t ha⁻¹ no tratamento POU, a 3,84 t ha⁻¹ no tratamento AZEV, no somatório acumulado de todo o período de avaliação (Figura 33).

O solo mantido sob campo nativo apresentou perdas de solo numericamente menor que os demais tratamentos, demonstrando que a condição original do solo em estudo, está numa condição de equilíbrio natural dinâmico, e, por manter-se permanentemente com sua superfície protegida com cobertura vegetal, apresentou o maior saldo entre a taxa de formação de solo e a taxa de perda anual de solo (Tabela 21). Destaca-se, no entanto, que o solo corretamente manejado e cultivado (tratamento AZEV) pode atingir índices de conservação muito semelhantes ao apresentado no campo nativo.

A proteção exercida pela cobertura do solo no campo nativo, e por uma densa camada de raízes, em grande parte proveniente de espécies gramíneas, contribui fortemente para a reduzida perda de solo verificada. O consórcio entre azevém e ervilhaca no inverno, em rotação com soja e milho no verão (AZEV), foi o sistema de culturas que apresentou, embora estatisticamente semelhante a outros tratamentos (MFP, MUC e NFO), a menor quantidade de perda acumulada de solo em todo o período, reforçando a importância de manter o solo protegido durante o maior período de tempo possível.

No tratamento AZEV, a cultura do azevém produz uma quantidade expressiva de sementes, quando lhe é possibilitado o término de seu ciclo, e estas sementes possuem muita boa capacidade de germinação, ou ressemeadura natural, no ano seguinte. Este fato determina que, no momento da colheita de grãos da cultura de verão, o que ocorre normalmente nos meses de março e abril, seja a soja seja o milho, o azevém já se encontra em fase de estabelecimento natural, proporcionando, desta maneira, a manutenção prévia da cobertura do solo, sem interrupção entre uma estação e outra, ou entre um cultivo e outro. Com o plantio da ervilhaca e do próprio azevém logo em seguida, este sistema de culturas permaneceu sobre o solo efetivamente durante todo o período de outono, inverno e

início de primavera, e ao longo dos anos de utilização, o resultado foi a perda anual acumulada de solo em menores valores do que os encontrados nos demais sistemas de culturas, inclusive apresentando valor pouco acima do verificado no campo nativo (CNA).

Em nível de propriedade rural, este sistema de manejo, com o passar do tempo, proporciona a possibilidade de ocorrer o estabelecimento do azevém sem necessidade de realização de plantio, o que representa um custo a menos durante o ano agrícola. Deve ser lembrado que para que isto ocorra num determinado ano, o ano anterior deve ter apresentado condições climáticas favoráveis para uma boa produção de sementes pela cultura do azevém (Lanzanova, 2005).

A prática do pousio invernal faz com que espécies invasoras indesejadas, que normalmente proporcionam pouca cobertura do solo, se estabeleçam, expondo desta maneira o solo ao potencial erosivo da chuva. Esta condição é agravada nos anos em que se cultiva a soja, pois a quantidade de resíduos produzidos por esta cultura é relativamente baixa, e permanece por menos tempo na superfície do solo, uma vez que a baixa relação C/N de seus resíduos favorece o ataque dos microrganismos do solo, acelerando o processo de decomposição.

O resultado da adoção continua desse manejo foi refletido na Figura 33, onde o tratamento POU, entre os demais sistemas de culturas que cultivaram plantas, foi o que apresentou maior perda de solo acumulada em todo o período de execução do experimento.

Os adubos verdes de verão mucuna (MUC) e feijão de porco (MFP), cultivado nas entrelinhas da cultura do milho, proporcionaram quantidades de perdas de solo acumuladas intermediárias aos valores encontrados nos tratamentos POU e NFO, CNA e AZEV. As perdas de solo relativamente maiores nesses sistemas de culturas em relação aos tratamentos NFO e AZEV podem ser explicadas devido ao fato de que, das dezesseis safras agrícolas avaliadas, os adubos verdes foram cultivados em treze, e nas outras três foi cultivada a soja, isolada, que determinou a quantidade de resíduos e sua persistência conforme citado anteriormente. Nos períodos subseqüentes ao cultivo da soja, o solo permaneceu coberto com os resíduos do feijão de porco e da mucuna, até o plantio da nova safra de verão.

O sistema de plantio direto mostrou-se eficiente em reduzir as perdas de solo, com valores variando entre 99,2% a 99,8% de redução nos tratamentos POU e AZEV, em comparação com o solo descoberto (SDES). O longo tempo de cultivo sem revolvimento proporcionou uma expressiva camada de resíduos vegetais na superfície do solo, o que somado à proteção exercida pelos cultivos em cada tratamento, resultou em elevada porcentagem de cobertura do solo durante boa parte do ano, sendo este um dos principais fatores mitigantes do processo erosivo. O solo sob vegetação nativa (CNA) apresentou redução de perdas de solo da ordem de 99,99%, proporcionando taxa de formação natural de solo maior do que a taxa de perdas, como se espera que aconteça nesta condição.

Outro fator determinante das reduzidas perdas de solo verificadas é a prática do plantio das culturas realizadas em nível no terreno, contrário ao sentido da declividade, que é o caminho preferencial para o escoamento da água da enxurrada.

As raízes das plantas e demais restos culturais, quando cultivadas em nível, permanecem na superfície do solo mesmo após passados alguns meses da colheita de grãos, proporcionando barreiras ou obstáculos contra o fluxo de água de possíveis enxurradas, determinando maior tempo de permanência na superfície, menor velocidade de escoamento e maior possibilidade de infiltração no solo (Luciano et al., 2009). Bertoni & Lombardi Neto (1990) citam que a simples prática do culturas em nível pode reduzir em até 50% as perdas de solo em comparação com o culturas no sentido da declividade.

Resultados bastante semelhantes foram obtidos por Debarba (1993) e por Seganfredo (1995) no mesmo experimento, na avaliação dos anos de 1992 e 1993, e de 1994 e 1995, respectivamente. Índices semelhantes aos do presente estudo foram também encontrados por Mello et al. (2003) que, comparando as perdas de solo e água num Nitossolo Háplico submetido a diferentes sistemas de preparo do solo, encontraram no sistema de cultivo mínimo uma redução de 96% na perda de solo, em relação ao solo descoberto e sem cultivo, enquanto que o sistema de plantio direto obteve uma redução de 88% em relação ao verificado no cultivo mínimo. Os autores atribuíram os resultados das reduzidas perdas de solo nos sistemas de cultivo mínimo e plantio direto devido ao aumento da rugosidade superficial do solo nestes, e também ao maior percentual de cobertura do solo durante as precipitações pluviométricas, que exerceram efeito protetor frente ao impacto desagregante das gotas de chuva.

Na Figura 34 observa-se a diferença de nível da superfície do solo entre os tratamentos MFP, SDES e POU. A remoção contínua de solo ocorrida no tratamento SDES determinou o surgimento de um desnível considerável entre as parcelas experimentais, cujo valor médio foi estimado em 0,16 m.



Figura 34. Detalhe das parcelas experimentais onde foram instalados os tratamentos solo descoberto (SDES, duas parcelas ao centro), milho + feijão de porco/soja (MFP, no canto superior à esquerda), e, pousio (POU, no canto superior à direita). *Entre os tratamentos SDES e POU há um espaço com vegetação natural, onde se pode comparar o desnível entre as parcelas ocasionado pela ocorrência contínua de erosão hídrica.

Ressalta-se que a ação da erosão é seletiva em carregar preferencialmente as partículas mais finas do solo, como os colóides orgânicos e a fração argilosa, além de nutrientes como nitrogênio e potássio (Bertol et al., 2003),

permanecendo superficialmente as partículas mais grosseiras da fração areia, de fraca estabilidade e resistência à desagregação (Seganfredo et al., 1997).

A Tabela 22 apresenta os valores de perdas de solo ocorridas em cada ano de execução do experimento, nos diferentes sistemas de culturas avaliados, a média anual considerando todo o período, e o total acumulado em cada tratamento, ao final de 16 anos de avaliação.

Tabela 22. Perdas totais de solo por ano de execução de um experimento com 16 anos de duração, implantado em um Argissolo Vermelho, submetido a diferentes sistemas de culturas em plantio direto, em solo descoberto e em campo nativo, em Santa Maria – RS

Ano ¹	Tratamento						
	MFP	SDES	POU	AZEV	MUC	CNA	NFO
	Perdas de solo, t ha ⁻¹						
1992-1993	1,645	171,765	6,470	0,525	1,825	0,110	1,865
1993-1994	1,360	220,145	9,630	0,855	1,420	0,000	1,200
1994-1995	0,755	182,415	1,245	0,525	0,730	0,140	1,090
1995-1996	1,662	96,204	0,161	0,225	0,800	0,044	0,109
1996-1997	0,317	51,233	0,110	0,043	0,151	0,010	0,029
1997-1998	0,811	184,292	0,438	0,158	0,602	0,123	0,204
1998-1999	0,229	125,741	0,390	0,089	0,089	0,068	0,263
1999-2000	0,151	114,607	0,145	0,120	0,128	0,022	0,051
2000-2001	0,079	206,981	0,141	0,083	0,035	0,074	0,032
2001-2002	0,039	174,532	0,083	0,034	0,105	0,031	0,040
2002-2003	0,112	243,296	0,482	0,332	0,088	0,165	0,106
2003-2004	0,054	144,638	0,072	0,125	0,052	0,083	0,027
2004-2005	0,009	10,692	0,023	0,006	0,040	0,110	0,050
2005-2006	0,185	285,544	0,460	0,127	1,974	0,000	0,497
2006-2007	0,328	142,419	0,224	0,058	0,275	0,140	0,757
2007-2008	0,203	185,224	0,141	0,531	0,354	0,044	0,156
Média	0,496	158,733	1,263	0,240	0,542	0,067	0,405
Total	7,939	2539,728	20,215	3,839	8,669	1,065	6,476

MFP: milho + feijão de porco/soja; POU: milho/pousio/soja/pousio; AZEV: milho/azevém + ervilhaca/soja/ azevém + ervilhaca; MUC: milho + mucuna/soja; CNA: campo nativo; NFO: milho/nabo forrageiro/soja/nabo forrageiro. ¹Corresponde ao período entre abril do primeiro ano e março do segundo ano.

A condição que manteve o solo desprotegido permanentemente (SDES) apresentou perdas de solo anuais numa escala muito superior às verificadas nos demais tratamentos, variando de centenas até milhares de vezes superiores a estes. De maneira geral, os valores observados variaram de ano a ano, em cada tratamento, sendo reflexo direto da precipitação e sua erosividade, ocorridas em cada período, e também às condições de cobertura da superfície do solo, que foi relacionada diretamente a espécie cultivada e a fase de seu ciclo.

A Tabela 23 apresenta os valores de erosividade da chuva e precipitação pluviométrica totais em cada ano de avaliação, e as perdas totais de solo verificadas na parcela padrão.

Tabela 23. Perdas anuais de solo verificadas na parcela padrão, erosividade total da chuva e precipitação pluviométrica total por ano de execução de um experimento com 16 anos de duração, implantado em um Argissolo Vermelho em Santa Maria – RS

Ano ¹	Perdas de solo	Erosividade da chuva	Precipitação pluviométrica
	t ha ⁻¹	MJ mm ha ⁻¹ h ⁻¹	mm
1992-1993	171,765	7919	1719
1993-1994	220,145	2350	1719
1994-1995	182,415	3436	1993
1995-1996	96,204	8274	1244
1996-1997	51,233	5920	1100
1997-1998	184,292	11798	1934
1998-1999	125,741	11983	1536
1999-2000	114,607	8879	1458
2000-2001	206,981	11498	2046
2001-2002	174,532	10667	1805
2002-2003	243,296	12628	2898
2003-2004	144,638	9025	1452
2004-2005	10,692	3919	925
2005-2006	285,544	6059	1860
2006-2007	142,419	6477	1447
2007-2008	185,224	5435	1476
Média	158,733	7892	1663
Total	2539,728	126267	26270

¹Corresponde ao período entre abril do primeiro ano e março do segundo ano.

O ano agrícola 2002-2003, considerando o período entre abril do primeiro ano e março do segundo ano, respectivamente, apresentou o maior volume de chuva (2898 mm), ou seja, aproximadamente 1000 mm de chuva a mais do que a média normal histórica para o local, o que o caracteriza como ano de ocorrência do fenômeno “El niño”. Este ano foi o que apresentou também a maior erosividade total da chuva (12628 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹). Curiosamente neste ano ocorreu a segunda maior perda total de solo (Tabela 23). A maior perda total de solo no tratamento SDES ocorreu em 2005-2006, ano este que apresentou total de precipitação próximo à média histórica. Isto demonstra que existe a relação entre a altura total anual da precipitação e sua respectiva erosividade e, embora o coeficiente de correlação entre estas duas variáveis não tenha sido elevado, esta relação foi significativa.

A Figura 35 apresenta a relação entre a precipitação total anual e as perdas de solo verificadas na parcela em que se manteve o solo permanentemente descoberto (SDES).

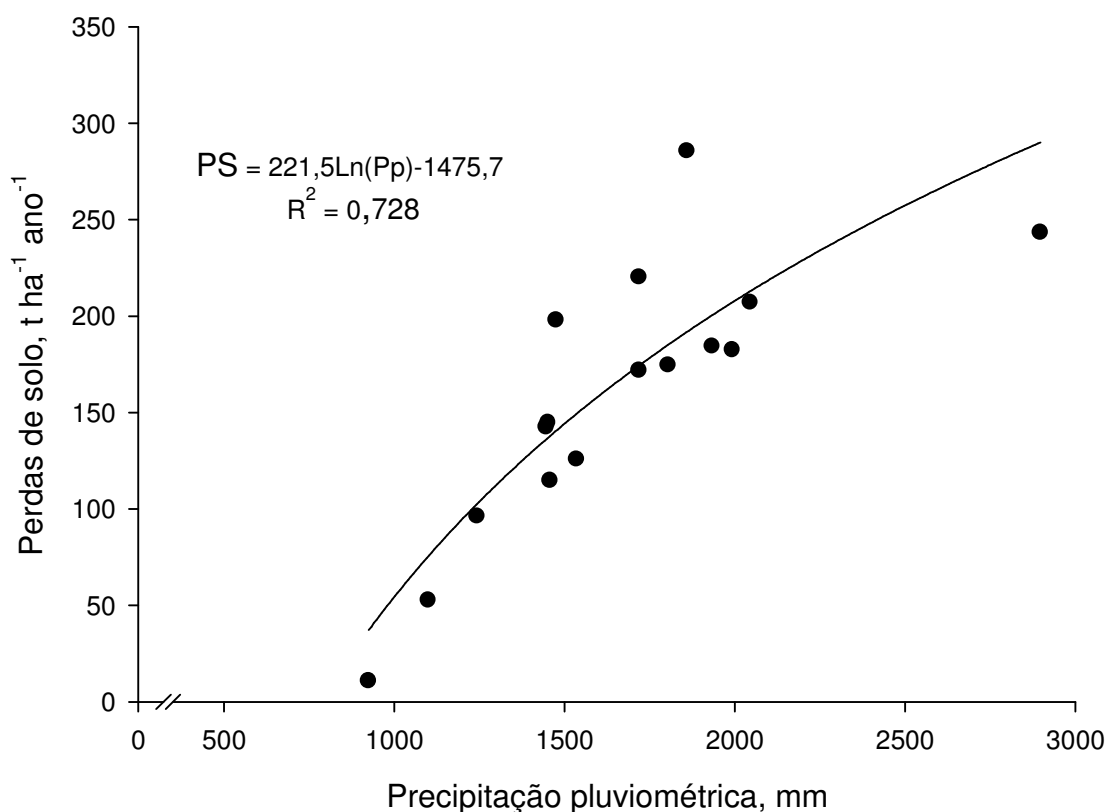


Figura 35. Relação entre precipitação pluviométrica total anual e perdas de solo totais anuais verificadas no tratamento solo descoberto, no período entre abril de 1992 e março de 2008, num Argissolo Vermelho de Santa Maria – RS.

Os anos que registraram as maiores precipitações totais ocasionaram as maiores perdas totais de solo. Observa-se que a quantidade total de chuva durante o ano foi um dos fatores decisivos para que ocorresse a perda de solo nesta condição ($R^2 = 0,728$). Porém, pode-se observar também, assim como na Tabela 23, que ocorreu uma grande variação no total de chuva durante o ano, e essa variação é em parte atribuída aos fenômenos “El niño” e “La niña” ocorridos nos anos em que a precipitação total anual situou-se muito acima ou muito abaixo da média normal observada, respectivamente. Amado et al. (2002) já haviam anteriormente constatado tais resultados no mesmo experimento, em avaliação específica dos anos de ocorrência dos referidos fenômenos climáticos.

Pelos pontos observados, em relação à reta ajustada pela equação linear apresentada, verifica-se que as maiores perdas de solo ocorreram nos anos em que se constataram as maiores precipitações e, nos anos que o total de precipitação anual foi próximo à média normal observada (1680 mm), as perdas situaram-se próximas à reta, indicando que nos anos atípicos em relação ao regime de chuvas pode-se esperar valores de perdas de solo diferenciados. Com base em previsões climáticas cada vez mais precisas, órgãos de assistência técnica e, agricultores em geral, podem tomar precauções extras em relação à erosão hídrica nos anos de ocorrência desses fenômenos.

4.4.2 Perdas de água

Na Tabela 24 são apresentadas as perdas de água mensais obtidas durante o período compreendido entre abril de 1995 e março de 2008, nos diferentes tratamentos avaliados, totalizando um período de 13 anos de coleta de dados. A distinção mensal das perdas de água no período de abril de 1992 a março de 1995 não foi computada.

Nota-se que houve elevada variação mensal nos valores das perdas de água em todos os tratamentos, com o tratamento SDES apresentando as maiores perdas em todos os meses. Este tratamento, por não apresentar cobertura da superfície do solo com vegetais e seus resíduos, dissipou a energia do impacto das gotas de chuva diretamente nos seus agregados superficiais, os quais não

suportaram tal energia e romperam-se, promovendo, ao mesmo tempo, a remoção de partículas mais finas do solo e o rearranjo das demais partículas nos primeiros centímetros da superfície.

A acomodação das partículas do solo após a desagregação pelo impacto das gotas de chuva promoveu efeitos negativos e significativos na taxa de infiltração de água, resistência ao penetrômetro e densidade e macroporosidade do solo (Mannering & Meyer, 1962; Flanagan et al., 1988). Tal afirmação encontra respaldo também nas Figuras 4 e 6, e na Tabela 3, respectivamente.

O resultado dessas alterações ocorridas na superfície do solo é denominado selamento superficial dos poros, e promove a ocorrência de enxurradas, cujo efeito é, em primeiro plano, a perda de água da lavoura. Em seguida, como esta é o veículo para o transporte, ocorrem as perdas de solo juntamente com a água da enxurrada, sendo as partículas mais finas mais facilmente carregadas e preferencialmente removidas.

Tabela 24. Perdas de água mensais acumuladas durante o período compreendido entre abril de 1995 e março de 2008, em diferentes sistemas de culturas, num Argissolo Vermelho em Santa Maria – RS

	Tratamento							Total	Pp*
	MFP	SDES	POU	AZEV	MUC	CNA	NFO		
	Perdas de água, mm								mm
Abril	9,3	524,7	21,0	13,3	11,4	35,7	16,7	632,1	2029
Maio	9,2	448,9	10,6	9,9	14,3	20,3	9,1	522,4	1320
Junho	12,1	638,9	20,9	15,5	16,9	16,2	14,0	734,5	1821
Julho	15,9	466,9	46,9	22,6	19,5	31,7	20,9	624,4	1558
Agosto	12,4	536,3	29,2	16,7	15,6	35,5	15,5	661,1	1377
Setembro	22,4	590,6	50,3	25,4	39,7	41,9	24,8	795,2	1950
Outubro	23,9	861,0	50,9	29,2	49,8	42,9	21,4	1079,1	2445
Novembro	12,1	499,2	14,0	13,5	19,0	15,3	8,0	581,2	1512
Dezembro	28,1	624,6	34,0	27,2	40,6	40,0	21,5	816,0	1801
Janeiro	34,7	737,1	50,4	30,1	48,1	41,7	18,8	960,9	2259
Fevereiro	37,2	537,9	32,4	24,3	43,7	42,4	15,0	733,0	1509
Março	14,0	408,3	13,1	15,1	18,5	17,7	8,9	495,5	1600
Total	231	6874	373	242	337	381	194	8635	21181

MFP: Milho + feijão de porco/soja; SDES: Solo descoberto; POU: Milho/pousio/soja/pousio; AZEV: Milho/azevém + ervilhaca/soja/azevém + ervilhaca; MUC: Milho + mucuna/soja; CNA: Campo nativo; NFO: Milho/nabo forrageiro/soja/nabo forrageiro. *Volume total precipitado em cada mês do período avaliado.

Os demais tratamentos apresentaram perdas de água em níveis muito inferiores ao verificado no solo descoberto, em função obviamente de nestes haver cobertura e proteção da superfície do solo com plantas e seus resíduos, sendo este um dos principais fatores determinantes dos valores apresentados em cada mês do ano e em cada sistema de culturas.

A quantidade de massa vegetal exercendo efeito de proteção frente a ação erosiva da chuva, em cada sistema de culturas, aliado ao tempo que a superfície permaneceu protegida, foram, no tocante às plantas, os principais responsáveis pelos resultados de perdas de água apresentados. Dessa maneira, o solo mantido sob campo nativo, que permaneceu durante todos os meses do ano, sem interrupção, com plantas e seus resíduos proporcionando cobertura do solo, deveria apresentar as menores perdas de água e solo em relação aos demais tratamentos.

Com relação às perdas de solo mensais observadas na Tabela 20, a hipótese anterior foi confirmada, porém com as perdas de água, o mesmo não ocorreu, sendo o motivo principal do resultado obtido atribuído à baixa taxa de infiltração de água constatada neste tratamento (Figura 6). Aliado a esta propriedade, a macroporosidade do solo, que possui relação direto com a taxa de infiltração de água, possivelmente deve ter sido ocupada com as raízes das espécies vegetais naturais constituintes do campo nativo, retirando espaço preferencial para que a água infiltrasse em maior quantidade.

Volk et al. (2004) avaliaram as condições físicas do solo na superfície e em subsuperfície, num Argissolo Vermelho e sua relação com as perdas de solo e água por erosão hídrica, sob chuva simulada. Os autores concluíram que os mecanismos que governam as perdas de solo, decorrentes do manejo realizado no solo, são distintos dos que determinam as perdas de água.

Bertol et al. (2008) também constataram elevados valores de enxurrada em um campo nativo, num Nitossolo Háplico, e citam que, por mais conservacionista que seja o sistema de manejo, estará sujeito a ocorrência de elevadas enxurradas por ocasião de precipitações críticas. Os autores concluíram ainda que, após atingir a taxa constante de infiltração de água, o sistema de manejo do solo tem pouca influência em alterar a taxa de enxurrada na superfície do solo.

Na Figura 36 são apresentadas as variações mensais de perdas de água nos diferentes tratamentos avaliados, para o período entre abril de 1995 e março de

2008. Observa-se comportamento ou tendência semelhante entre os tratamentos avaliados nos diferentes meses do ano, com picos de máximas perdas de água nos meses de outubro e janeiro, respectivamente. Os meses que apresentaram os picos de mínimas perdas de água foram novembro, maio e março, com variação maior entre os sistemas de culturas do que o constatado para os picos de máximas perdas de água.

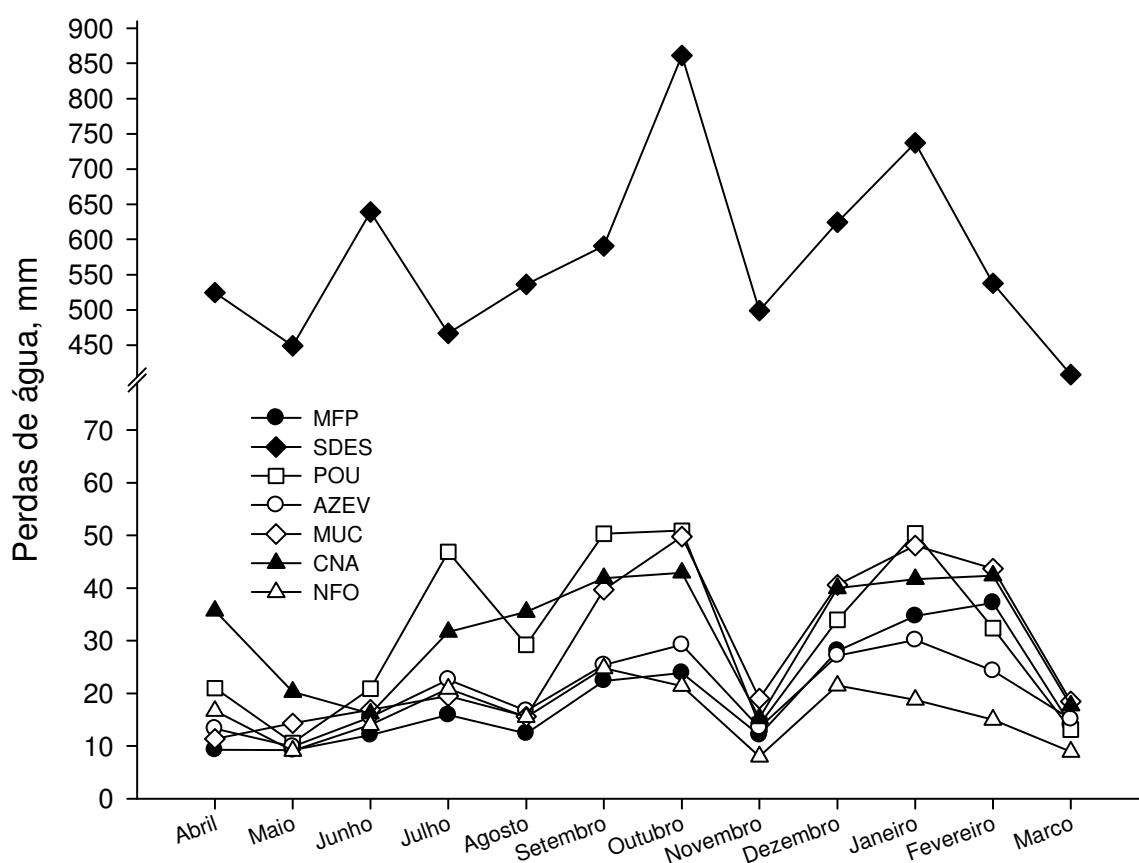


Figura 36. Perdas mensais médias de água em diferentes sistemas de culturas sob plantio direto, em solo descoberto e num campo nativo, observadas durante o período 1995-2008, num Argissolo Vermelho em Santa Maria –RS. (MFP: milho + feijão de porco/soja; SDES: solo descoberto; POU: milho/pousio/soja/pousio; AZEV: milho/azevém + ervilhaca/soja/azevém + ervilhaca; MUC: milho + mucuna/soja; CNA: campo nativo; NFO: milho/nabo forrageiro/soja/nabo forrageiro).

Os tratamentos POU e CNA apresentaram perdas de água acima dos demais tratamentos em praticamente todos os meses do ano, e situaram-se muito próximos entre si. Essa constatação demonstra a fragilidade que pode apresentar um sistema de culturas sob plantio direto, que não mantém a cobertura do solo durante a maior parte do ano. Diferentemente do que foi verificado no campo nativo que apresentou reduzidas perdas de solo, o sistema de pousio invernal apresentou perdas de solo que chegaram próximas à taxa de formação de solo apresentada na Tabela 21. A Figura 40 indica ainda que, durante o ano, ocorreram ciclos de altas e baixas perdas de água por enxurrada, na parcela padrão do experimento (SDES), considerando um período de 13 anos de avaliação.

Os meses que apresentaram as maiores perdas de água, em ordem decrescente, foram outubro, janeiro, junho, dezembro, setembro e fevereiro. Esses resultados foram semelhantes aos verificados na Figura 19, para as perdas de solo, apresentando apenas a troca entre os meses de outubro e janeiro nas perdas de água e o aparecimento do mês de junho com elevadas perdas de água durante o ano. As menores perdas de água, em ordem crescente, foram verificadas nos meses de março, maio e julho, formando assim os referidos ciclos de altos e baixos valores de perdas de água durante o ano.

A Figura 37 apresenta a distribuição relativa das perdas de água nos meses do ano, constatadas em cada tratamento avaliado.

Novamente se observa a concentração das maiores e menores perdas de água em determinados meses ou períodos do ano. As perdas de água apresentaram uma distribuição mais uniforme nos meses do ano em relação ao constatado para as perdas de solo (Figura 20), sugerindo que as perdas de água ocorrem com maior facilidade do que as perdas de solo.

Isto é fisicamente perceptível, uma vez que a rugosidade da superfície do solo e os resíduos vegetais e plantas podem funcionar como uma barreira ao deslocamento de partículas sólidas do solo, enquanto, para o deslocamento da água este retardo pode também ocorrer, mas de maneira menos eficiente. Além disso, o solo possui um limite máximo de infiltração de água.

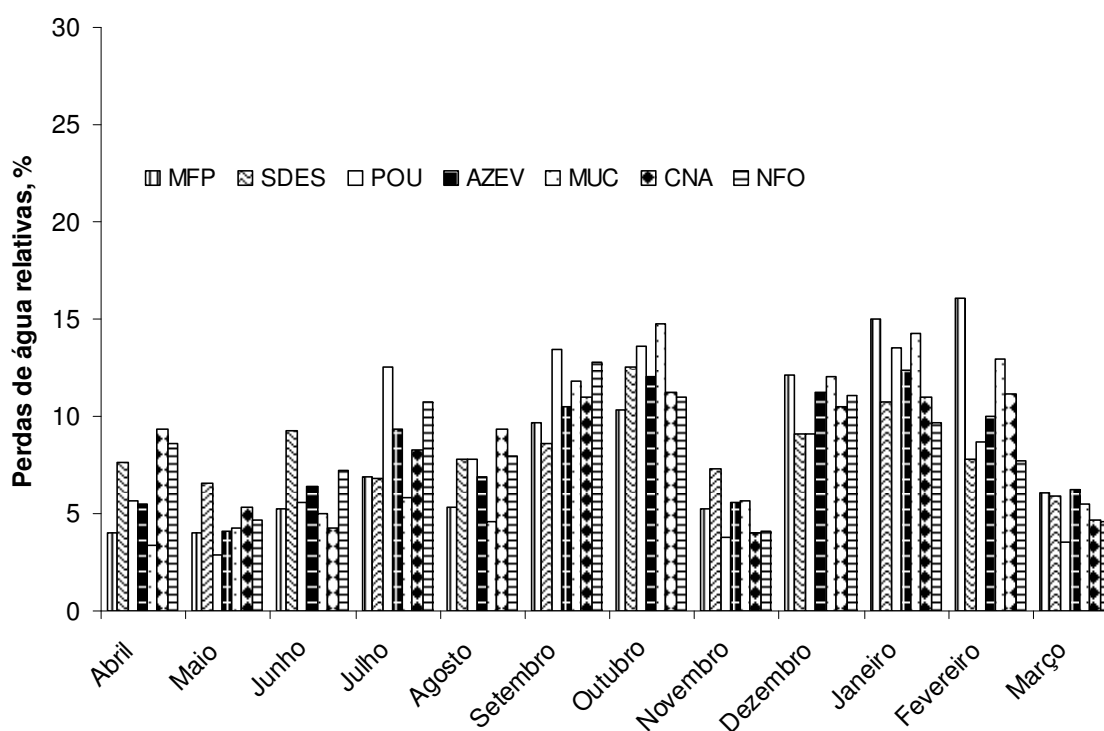


Figura 37. Distribuição relativa das perdas mensais de água em diferentes sistemas de culturas sob plantio direto, em solo descoberto, e num campo nativo. (MFP: milho + feijão de porco/soja; SDES: solo descoberto; POU: milho/pousio/soja/pousio; AZEV: milho/azevém + ervilhaca/soja/azevém + ervilhaca; MUC: milho + mucuna/soja; CNA: campo nativo; NFO: milho/nabo forrageiro/soja/nabo forrageiro).

Na Figura 38 é apresentada a distribuição mensal relativa da altura de precipitação e sua respectiva erosividade.

Observa-se comportamento semelhante ao apresentado para a distribuição das perdas de solo e perdas de água, sendo que estas duas variáveis são, em conjunto, responsáveis diretos por considerável parte dos resultados obtidos. Os meses de dezembro, janeiro e março, período em que as culturas de verão estão em pleno desenvolvimento, apresentaram os maiores valores de erosividade da chuva, enquanto, os meses de outubro, janeiro e abril apresentaram as maiores alturas de precipitação, não coincidindo exatamente com os meses de maiores perdas de água. Foram, porém, muito próximos, indicando a estreita relação entre as mesmas. Resultados semelhantes foram obtidos por Machado et al. (2008), Cogo et al. (2006) e Lombardi Neto & Moldenhauer (1992).

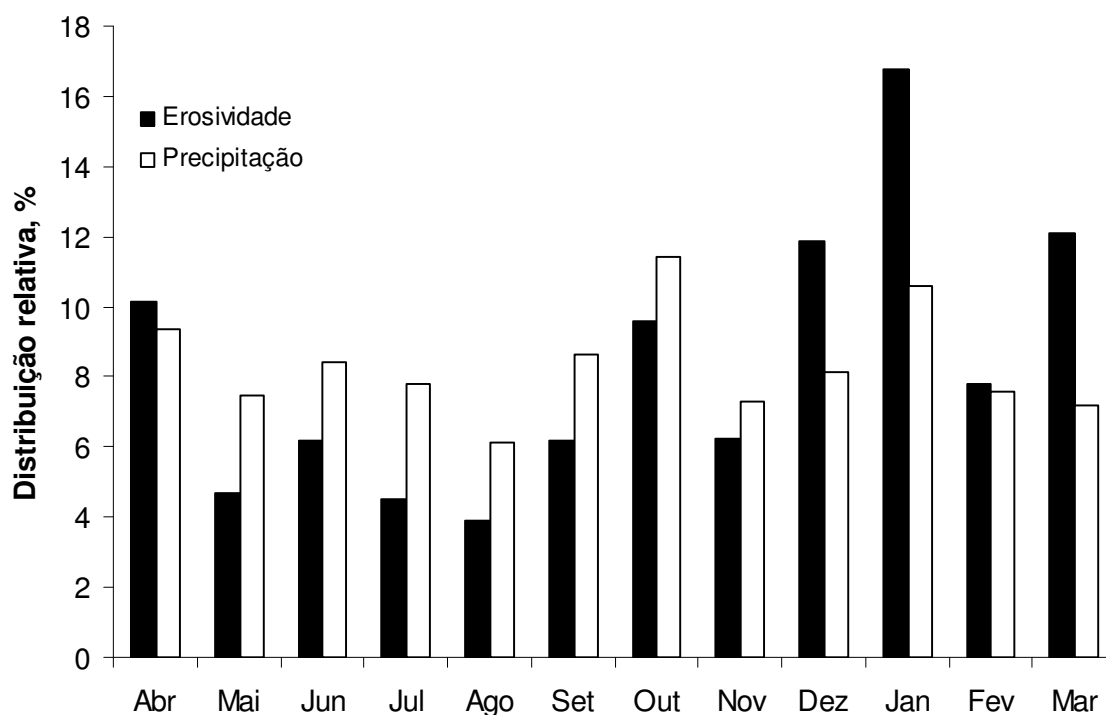


Figura 38. Distribuição relativa da precipitação pluviométrica mensal e da erosividade mensal da chuva, durante o período compreendido entre abril de 1995 e março de 2008, em Santa Maria – RS.

A precipitação pluviométrica total verificada em cada mês e sua relação com as perdas mensais de água em cada tratamento, durante um período de 13 anos de avaliação, é observada na Figura 39.

De maneira generalizada, todos os tratamentos apresentaram baixa correlação entre os valores de precipitação pluviométrica total mensal e suas respectivas perdas de água, com valores do índice R^2 variando de 0,152 (menor) no tratamento MFP a 0,370 (maior) no tratamento MUC.

Considerando que o coeficiente R^2 significa nesta figura o quanto de variação nas perdas de água é explicado pela precipitação pluviométrica total, os valores foram significativos, pois variaram de 15 a 37%, ou, aproximadamente de 1/6 a 1/3 dos motivos causadores das perdas de água nos respectivos tratamentos.

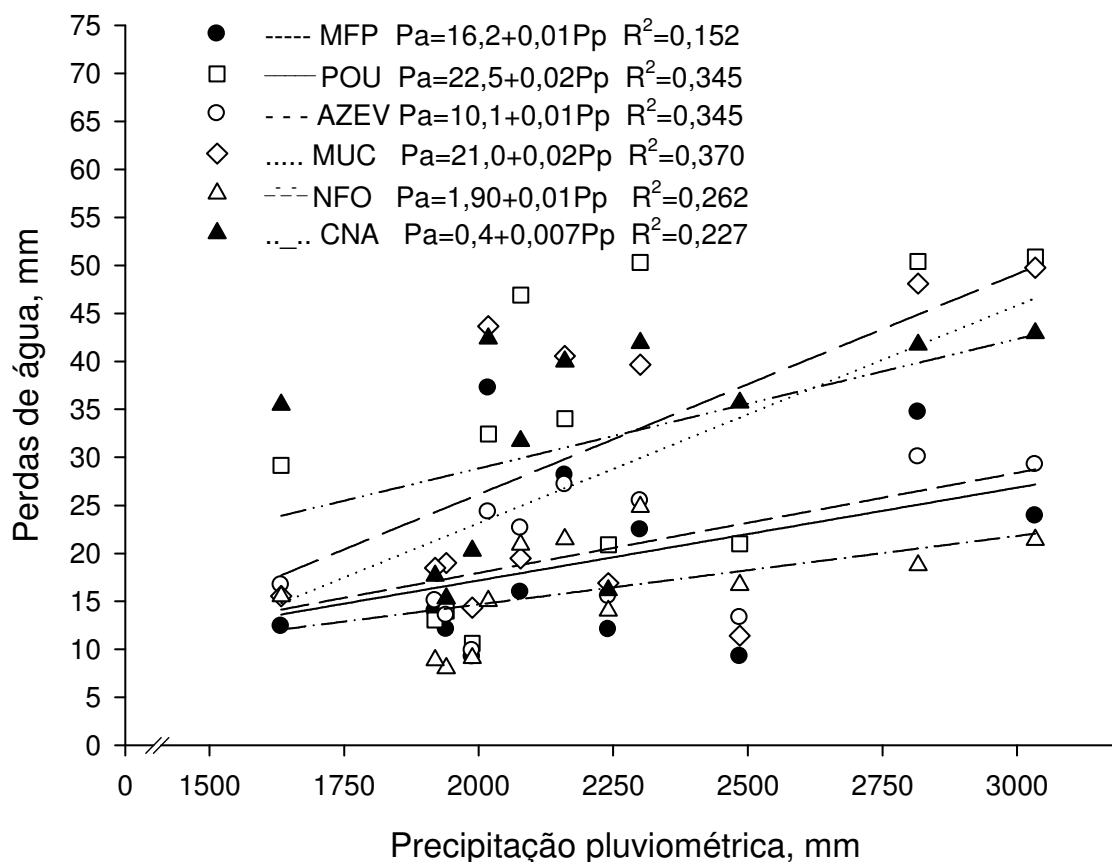


Figura 39. Relação entre precipitação pluviométrica mensal e perdas mensais de água em diferentes sistemas de culturas sob plantio direto, em solo descoberto e em campo nativo, num Argissolo Vermelho, no período compreendido entre abril de 1995 e março de 2008, em Santa Maria – RS. (MFP: milho + feijão de porco/soja; SDES: solo descoberto; POU: milho/pousio/soja/pousio; AZEV: milho/azevém + ervilhaca/soja/azevém + ervilhaca; MUC: milho + mucuna/soja; CNA: campo nativo; NFO: milho/nabo forrageiro/soja/nabo forrageiro).

Amado et al. (2002) analisaram as perdas de solo e água do presente estudo em anos de ocorrência de precipitações acima ou abaixo do normal e encontraram maior variação nos valores de perdas de solo do que nas perdas de água, e atribuíram os valores obtidos, em parte, a características como a intensidade máxima da chuva em 30 minutos, e seu tempo de duração, além da sua erosividade.

Amaral et al. (2008) atribuíram os resultados de perdas de água em um Cambissolo Húmico, ao teor de umidade do solo previamente à ocorrência das chuvas mais erosivas, e ao efeito da cobertura do solo no sentido de promover maior tempo de permanência da água na superfície do solo. Os autores destacaram que

no sistema de plantio direto normalmente ocorre a formação de bioporos estáveis, sendo estes favoráveis ao aumento da macroporosidade do solo, e em consequência, favoráveis ao processo de infiltração de água em subsuperfície.

A diferenciação das perdas de água ocorridas em dois períodos durante o ano agrícola, nos diferentes tratamentos, é apresentada na Figura 40 (abril-setembro) e Figura 41 (outubro-março).

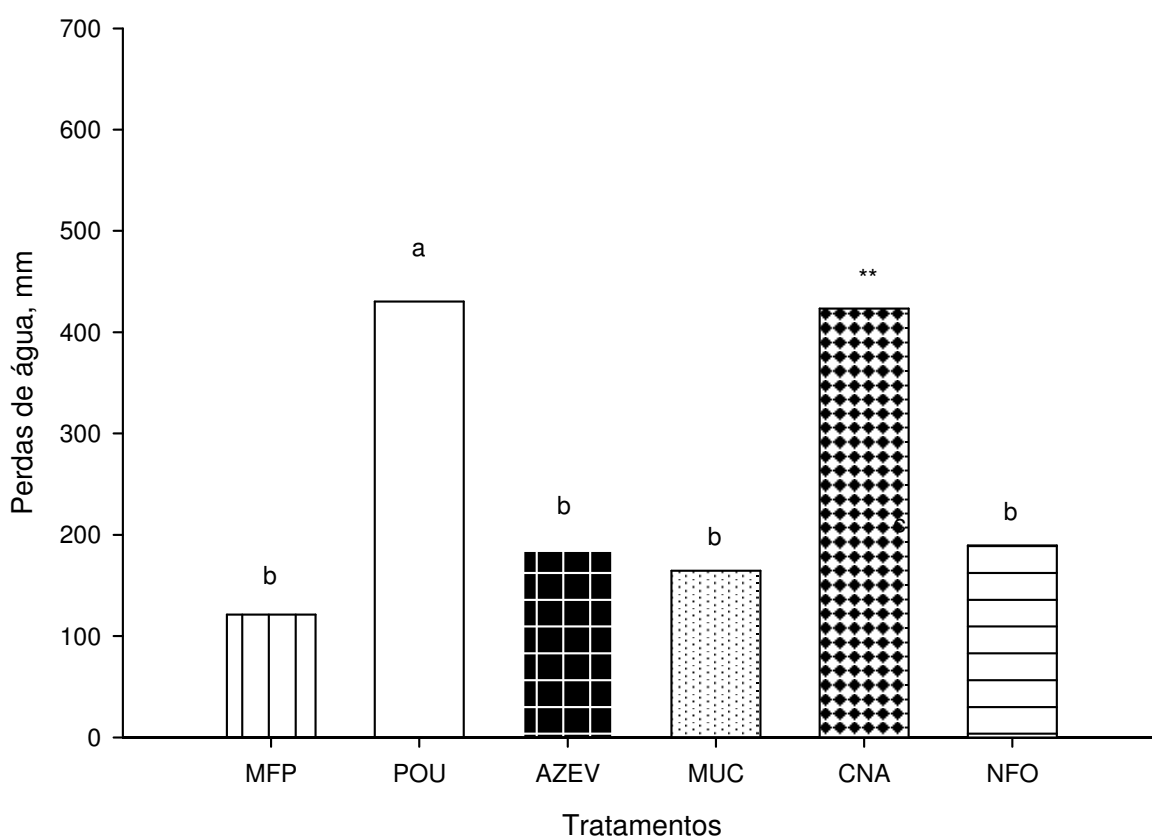


Figura 40. Perdas de água acumuladas no período abril - setembro, em 16 anos (1992-2008) de condução de um experimento de longa duração, em um Argissolo Vermelho com diferentes sistemas de culturas, e num campo nativo, em Santa Maria - RS. (MFP: milho + feijão de porco/soja; POU: milho/pousio/soja/pousio; AZEV: milho/azevém + ervilhaca/soja/azevém + ervilhaca; MUC: milho + mucuna/soja; CNA: campo nativo; NFO: milho/nabo forrageiro/soja/nabo forrageiro). *Barras seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$). **Não avaliado no teste estatístico.

Nesta avaliação, foram computados os valores compreendidos no período entre abril de 1992 e março de 1995. Nas duas comparações, o tratamento SDES foi desconsiderado, para fins de análise individual dos sistemas de culturas em plantio direto.

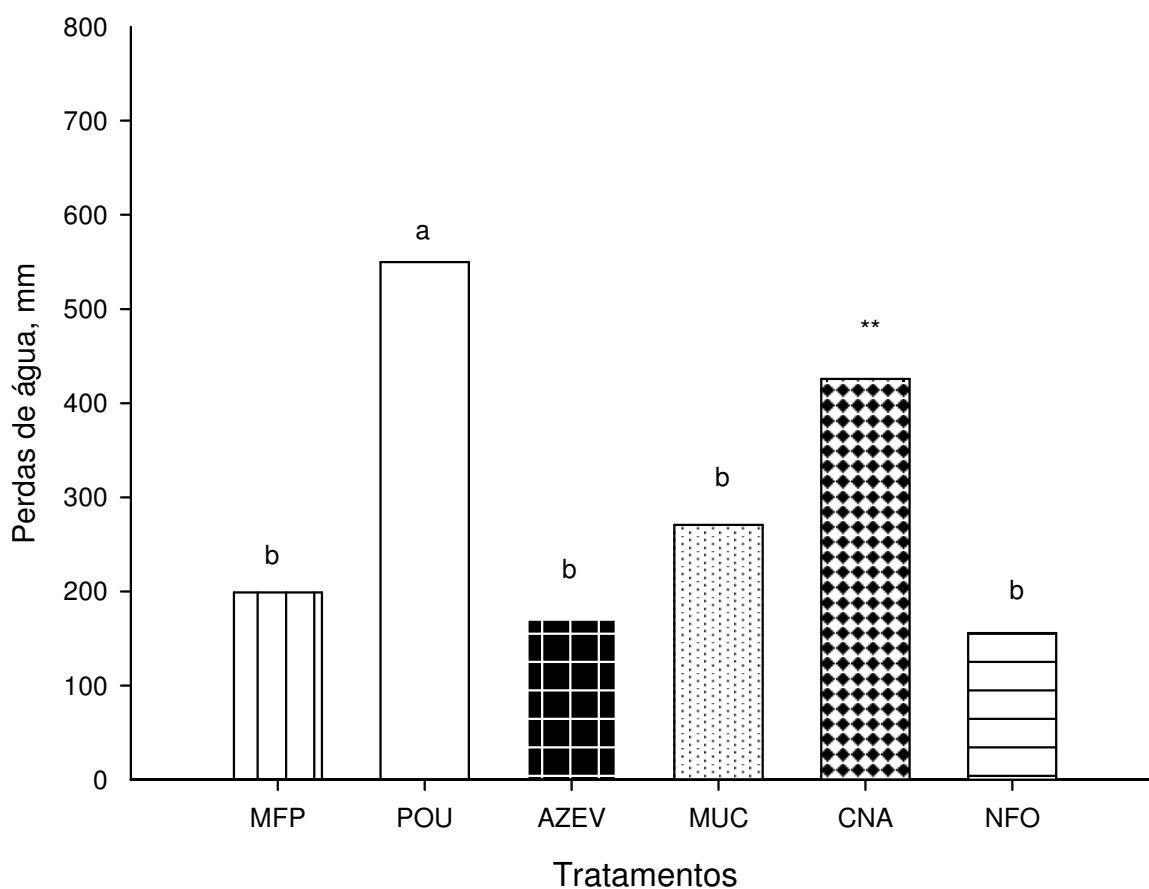


Figura 41. Perdas de água acumuladas no período outubro - março, em 16 anos (1992 - 2008) de condução de um experimento de longa duração, em um Argissolo Vermelho com diferentes sistemas de culturas sob plantio direto, e num campo nativo, em Santa Maria – RS. (MFP: milho + feijão de porco/soja; POU: milho/pousio/soja/pousio; AZEV: milho/azevém + ervilhaca/soja/azevém + ervilhaca; MUC: milho + mucuna/soja; CNA: campo nativo; NFO: milho/nabo forrageiro/soja/nabo forrageiro). *Barras seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$). **Não avaliado no teste estatístico.

O uso de pousio invernal (POU) apresentou estatisticamente maior perda de água acumulada ao longo dos 16 anos de execução do experimento, em relação

aos demais tratamentos sob plantio direto, tanto no período 1 quanto no período 2. Neste sistema de manejo parte dos resíduos vegetais aportados à superfície do solo foi rapidamente decompostos, e outra parte permaneceu exercendo proteção frente à ação erosiva da chuva, até que nova cobertura vegetal fosse implantada na área.

Em sistemas que utilizam pousio invernal, nos anos em que se cultiva a cultura da soja no ciclo de verão, a rápida decomposição de seus resíduos compromete a cobertura do solo no período outono-inverno. A consequência é a predisposição à ocorrência de enxurradas na lavoura, resultando em valores maiores de perdas de água e possivelmente também de solo, em comparação com sistemas que cultivam plantas de cobertura do solo ou cereais de inverno no mesmo período.

No período 2, nos tratamentos MUC e MFP, as perdas de água foram numericamente maiores, não diferindo estatisticamente das que foram constatadas nos demais tratamentos (Figura 41). Este resultado pode ser atribuído ao fato da implantação dos adubos verdes de verão ter ocorrido após o plantio da cultura do milho, e o seu efeito protetor do solo nas entrelinhas da cultura do milho foi efetivo depois de transcorridos alguns meses. Essa característica, própria de cada sistema de culturas, foi refletida nas menores perdas de água apresentadas no período 1, de abril a setembro, período em que após a colheita do milho, os referidos adubos verdes continuaram seu ciclo de desenvolvimento e exerceram o mesmo papel que os adubos verdes de inverno.

Na Figura 42 observa-se que no período 1 a quantidade total de perda de água foi menor do que a verificada no período 2, em todos os tratamentos, com exceção do NFO e AZEV que apresentaram valores ligeiramente menores no período 2.

Maiores perdas de solo e água são esperadas nos períodos em que ocorre a concentração da precipitação pluviométrica e sua respectiva erosividade. Como a precipitação foi praticamente igual nos dois períodos, a erosividade assume função diferencial na explicação dos resultados, uma vez que nos meses de outubro a março ocorreu a concentração de aproximadamente 65% da erosividade da chuva (Figura 31).

O solo sob campo nativo apresentou valores de perdas de água muito semelhantes nos dois períodos avaliados, o que pode ser atribuído diretamente a cobertura vegetal existente na superfície do solo. Esta, mesmo em situações de

ocorrência de severas geadas, permaneceu permanentemente exercendo efeito protetor frente a ação erosiva da chuva.

Comportamento semelhante ao verificado no campo nativo foi apresentado pelo tratamento AZEV, cuja característica o diferencia dos demais sistemas de culturas. A cultura do azevém, como já fora anteriormente discutido, apresenta elevada capacidade de ressemeadura natural nos anos subsequentes ao seu cultivo, proporcionando com isso a continuidade da proteção da superfície do solo entre um período e outro.

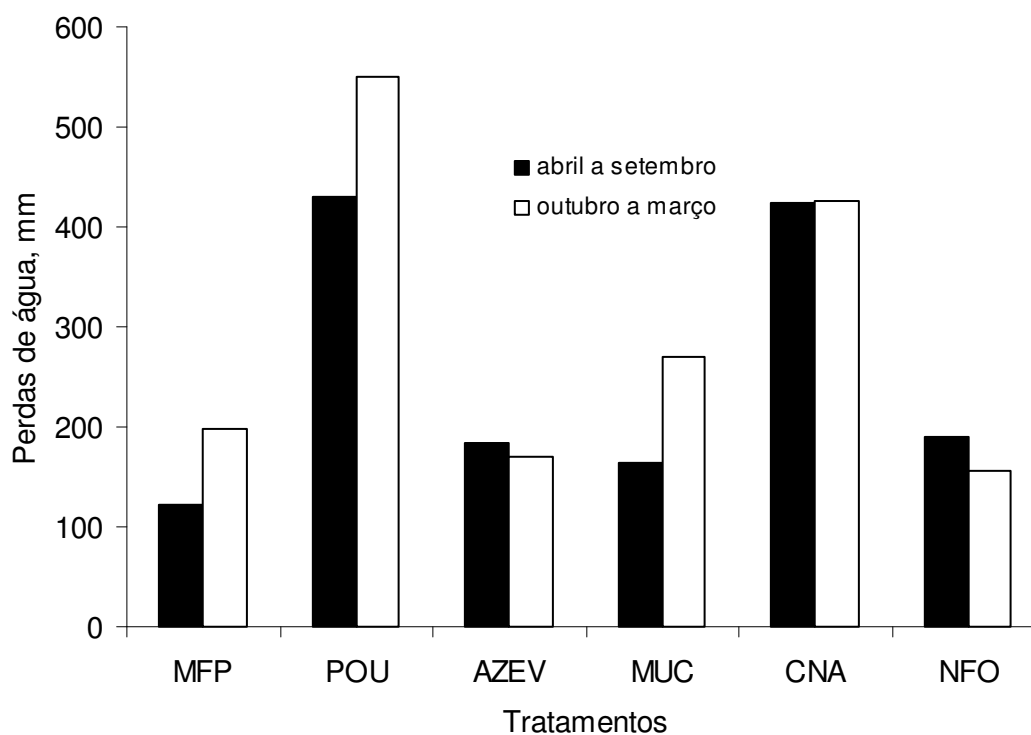


Figura 42. Perdas de água em diferentes sistemas de culturas sob plantio direto e num campo nativo de Santa Maria – RS, nos períodos abril-setembro e outubro-março, ao final de 16 anos de avaliação. (MFP: milho + feijão de porco/soja; POU: milho/pousio/soja/pousio; AZEV: milho/azevém + ervilhaca/soja/azevém + ervilhaca; MUC: milho + mucuna/soja; CNA: campo nativo; NFO: milho/nabo forrageiro/soja/nabo forrageiro).

A diferenciação da precipitação total anual em dois períodos distintos, conforme os ciclos das culturas agrícolas, e a sua relação com as perdas de água da parcela padrão (SDES), é apresentada na Figura 43.

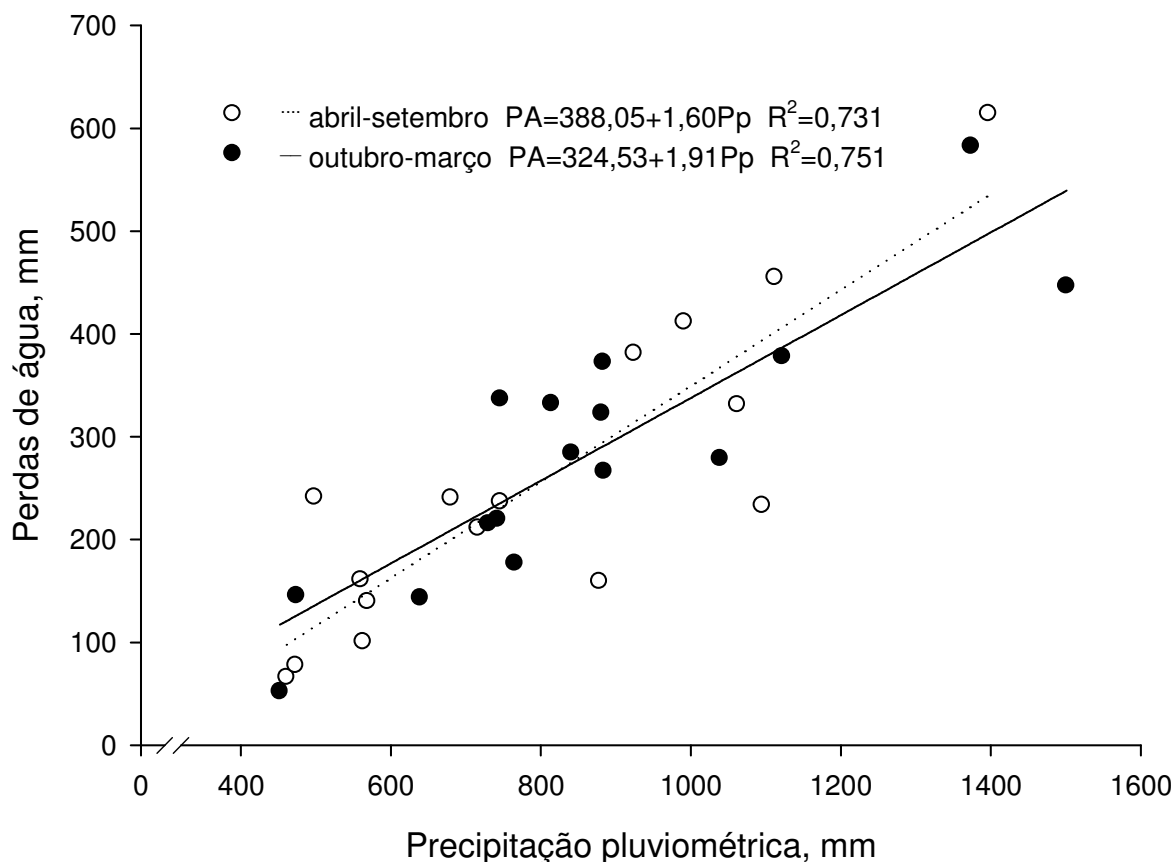


Figura 43. Relação entre a precipitação pluviométrica total verificada nos períodos abril-setembro e outubro-março, e a perda total de água nos mesmos períodos, verificados na parcela padrão do experimento de perdas de solo, em um Argissolo Vermelho de Santa Maria – RS.

O coeficiente de correlação R^2 aumentou sua significância em comparação à encontrada pela análise dos dados de perda de água totais anuais (Figura 44), indicando ser esta diferenciação um melhor indicativo dos valores de perdas de água ocorridas durante o ano. A relação elevada, com coeficiente de determinação ($R^2=0,610$), indica ser a precipitação pluviométrica total uma das principais responsáveis pelas perdas de água verificadas na parcela com solo descoberto.

Os anos que apresentaram maiores perdas de água coincidiram com aqueles de maior precipitação. Os pontos situados na parte inferior da reta indicaram que as menores perdas de água não ocorreram exatamente nos anos de menores

precipitações, sugerindo que o volume total de água precipitada em anos com precipitação abaixo da média é explicado também por outros fatores.

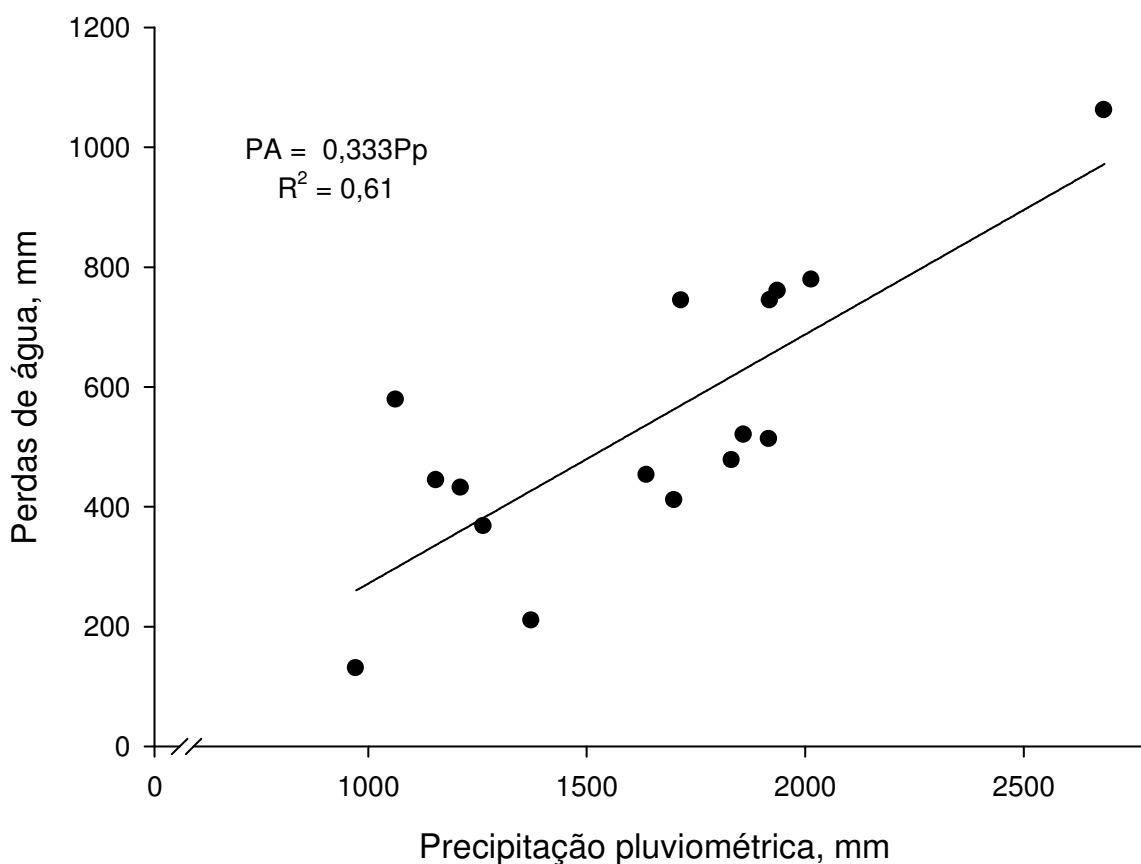


Figura 44. Relação entre precipitação pluviométrica total anual e perdas de água totais anuais da parcela padrão do experimento de perdas de solo, num Argissolo Vermelho de Santa Maria – RS.

A variação percentual entre os dois períodos durante o ano foi menos expressiva para os totais de precipitação e perdas de água do que para a erosividade da chuva (Figura 45). Cogo et al. 2006 obtiveram semelhantes resultados ao avaliar o período de 1963 a 2000, também em Santa Maria, RS. Neste sentido, cabe ressaltar que existe grande variabilidade espacial e temporal das precipitações pluviométricas de uma área ou região para outra, e também dentro dos limites do mesmo município. Estações meteorológicas situadas a uma distância de 15 km, como as utilizadas no trabalho de Cogo et al. (2006), e no presente estudo, podem apresentar diferenças significativas nos valores de precipitação coletados, e

em consequência, nos valores de erosividade da chuva, como ocorreu em alguns meses de avaliação coincidentes. Nos valores médios, porém, e por levar em consideração um longo período de tempo, essas diferenças acabaram sendo reduzidas e apresentaram o mesmo comportamento em relação a sua distribuição durante os meses correspondentes aos dois períodos de avaliação.

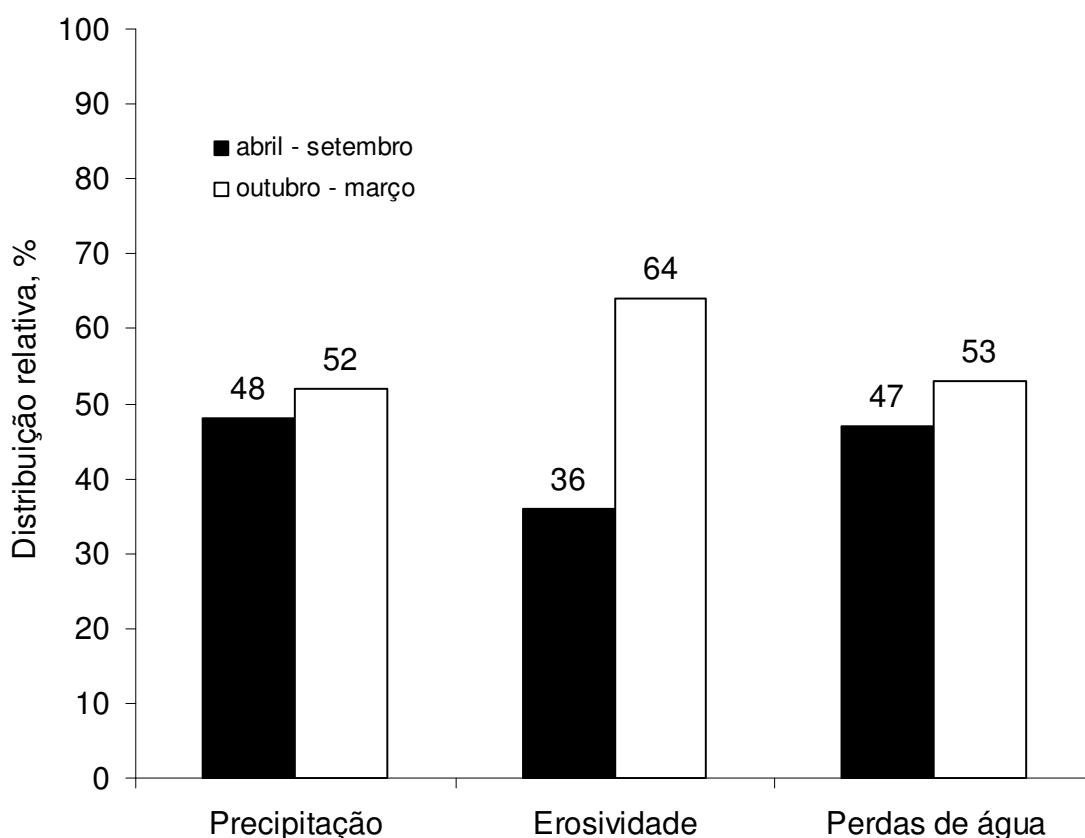


Figura 45. Distribuição relativa dos valores totais de precipitação pluviométrica, índice de erosividade da chuva, e perdas de água no tratamento solo descoberto, em dois períodos distintos durante o ano agrícola (abril-setembro e outubro-março).

Assim como verificado nas perdas de solo acumuladas, as perdas totais de água obtidas durante a execução do experimento reforçam o efeito protetor da cobertura do solo com plantas (Figura 46).

O solo descoberto (SDES) apresentou o maior valor de perda de água acumulada, chegando ao montante de 8615 mm, diferindo dos demais tratamentos, que, entre si, foram semelhantes perante a estatística.

O pousio invernal (POU) apresentou a segunda maior quantidade de perdas de água acumulada, com 980 mm, superando inclusive o tratamento campo nativo (CNA) que apresentou o valor de 849 mm, e assemelhando-se ao tratamento MUC que alcançou 435 mm. Os demais sistemas de culturas foram muito próximos quanto aos valores de perdas acumuladas de água, com valores ao redor de 300 mm.

A maior perda de água verificada no solo descoberto ocorreu devido ao fato da superfície do solo apresentar-se desprotegida, sem cobertura vegetal, ocasionando, logo nos primeiros minutos de ocorrência de precipitação, a formação do selamento superficial, diminuindo a porosidade do solo e reduzindo a sua taxa de infiltração de água, com conseqüente formação de enxurrada na área (Edwards & Larson, 1969; Mello et al., 2003).

Além da formação do selo superficial no solo, outros fatores determinam a magnitude das perdas de água de uma área, como a rugosidade superficial do solo (Mello, 2002; Cogo et al., 1984; Bertol et al., 1997), provocada pelo manejo, principalmente pela operação de preparo do solo, a cobertura do solo, e a porosidade total da camada superficial (Mello et al., 2003), além de condições físicas de subsuperfície do solo (Volk et al., 2004).

O sistema plantio direto pode apresentar maior perda de água do que sistemas de preparo convencionais, com incorporação dos resíduos ao solo como foi constatado por Volk et al., (2004) num Argissolo Vermelho distrófico. Os autores concluíram que as condições físicas do solo na sua superfície e em subsuperfície são resultantes do seu manejo, no caso, devido ao sistema de preparo e manejo da cobertura do solo, e que estas condições determinam as perdas de solo e perdas de água. Concluíram também que as condições que promovem as perdas de solo e as perdas de água são distintas, e os mecanismos que governam as referidas perdas causadas pela erosão hídrica também são diferenciados.

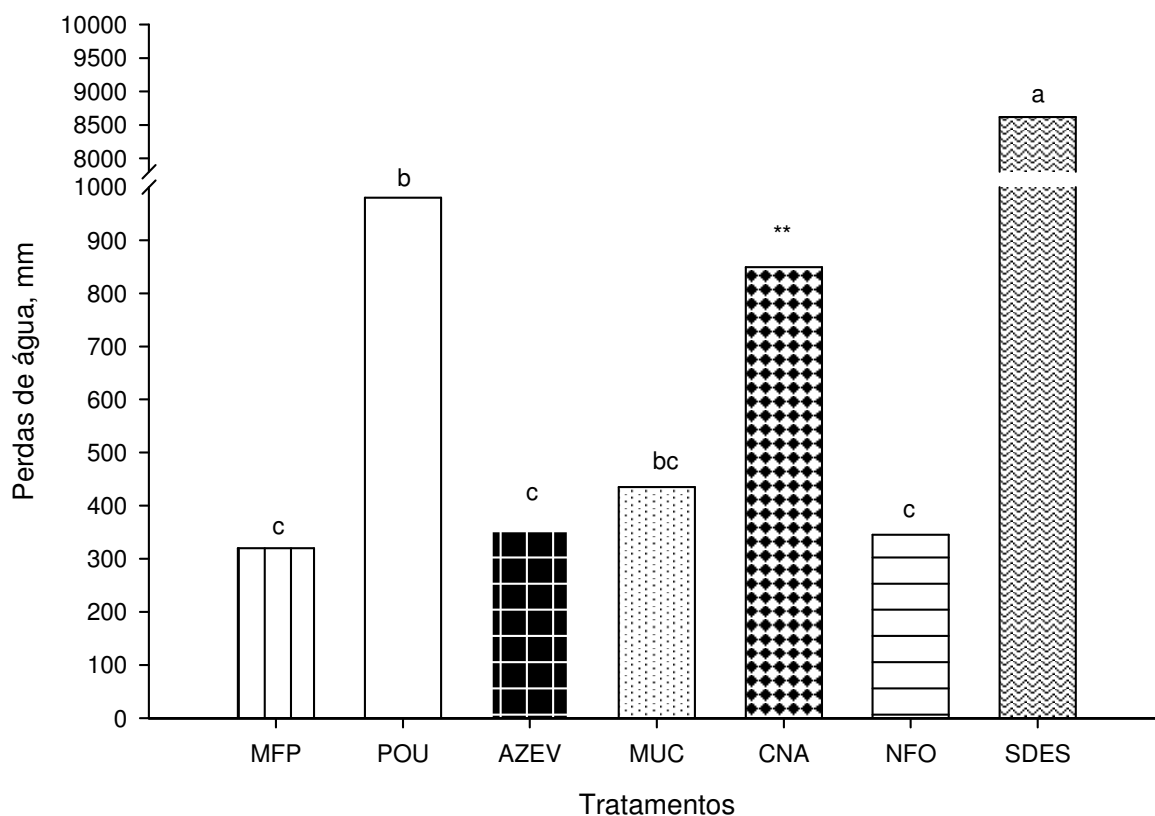


Figura 46. Perdas de água acumuladas em 16 anos de condução de um experimento de longa duração, em um Argissolo Vermelho com diferentes sistemas de culturas sob plantio direto, em um campo nativo e num solo descoberto. (MFP: milho + feijão de porco/soja; SDES: solo descoberto; POU: milho/pousio/soja/pousio; AZEV: milho/azevém + ervilhaca/soja/azevém + ervilhaca; MUC: milho + mucuna/soja; CNA: campo nativo; NFO: milho/nabo forrageiro/soja/nabo forrageiro). *Barras seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$). **Não avaliado no teste estatístico.

De um total de 26612 mm de precipitação verificada nos 16 anos de condução do experimento, o solo mantido sem cultivo (SDES) apresentou perda de 32,4%, enquanto o tratamento MFP perdeu apenas 1,20% do total de chuva precipitada. A comparação desses valores denota a importância significativa que a cobertura vegetal proporciona em termos de proteção à erosão hídrica e o favorecimento ao processo de infiltração de água no solo. A menor e a maior taxa de infiltração de água apresentada na Figura 6 podem ser utilizadas para explicar tamanha diferença entre as perdas de água verificadas nos tratamentos SDES e MFP, respectivamente.

Os dados apresentados na Figura 4 indicam a existência de uma fina camada de elevada resistência à penetração e, na Tabela 3, se constata a maior densidade e menor porosidade total e macroporosidade na camada superficial, no solo descoberto. Isso comprova o efeito protetor que a cobertura do solo com plantas exerce no sentido de dissipar a energia cinética das gotas de chuva e promover e evitar a infiltração de água e a ocorrência de enxurradas, respectivamente.

Na Tabela 25 são apresentados os valores das perdas de água totais verificadas em cada tratamento, em cada ano de execução do experimento. Observa-se também a média geral ocorrida de todo o período em cada tratamento, e o valor total de perdas de água acumuladas em todo o período. Os dados referentes ao solo sob campo nativo, no período de 1993-1994, não foram registrados e, portanto, este período foi desconsiderado no comparativo com os demais tratamentos.

Alguns anos apresentaram reduzidas perdas de água em todos os tratamentos avaliados, como o ocorrido em 1996-1997 e em 2004-2005, enquanto outros períodos como em 1994-1995 e 2002-2003, elevadas perdas de água foram verificadas.

A grande variabilidade verificada nas perdas de água em cada ano de condução do experimento é atribuída em primeiro lugar à variabilidade da precipitação total ocorrida em cada ano e, num segundo momento, devido às alterações na cobertura superficial do solo, que é função da época do ano, do sistema de culturas em questão, e do estágio de desenvolvimento das plantas.

Amado et al. (2002) comprovaram, analisando dados referentes ao mesmo experimento, em anos anteriores, que, além das razões citadas anteriormente, fenômenos climáticos que incidem sobre a região, de forma cíclica, mas de maneira irregular quanto a distribuição temporal, afetam diretamente as perdas de solo e água por erosão hídrica. Os referidos fenômenos, caracterizados por precipitação pluviométrica acima ou abaixo da média normal, determinam os teores de umidade volumétrica do solo anterior à ocorrência de chuvas erosivas, e são, portanto, também determinantes da magnitude dos valores de perdas de solo e água.

Tabela 25. Perdas totais de água acumuladas em cada ano de condução de um experimento de longa duração, num Argissolo Vermelho submetido a diferentes sistemas de culturas em plantio direto, em campo nativo e num solo descoberto, em Santa Maria – RS

Ano*	Perdas de água, mm						
	MFP	SDES	POU	AZEV	MUC	CNA	NFO
1992-1993	32,5	443,4	215,6	32,9	42,1	272,8	54,1
1993-1994	26,6	519,4	289,7	25,7	28,3	0,0	47,7
1994-1995	29,6	778,0	101,4	52,7	27,7	195,0	48,6
1995-1996	36,5	578,1	33,9	25,7	29,6	90,6	16,1
1996-1997	15,0	209,3	6,2	6,7	16,8	18,5	5,1
1997-1998	37,1	743,5	54,5	29,9	44,8	35,5	15,9
1998-1999	18,3	476,9	48,1	23,7	19,2	22,7	16,0
1999-2000	11,3	431,0	10,3	9,7	24,1	6,1	9,8
2000-2001	21,0	759,1	21,7	22,7	20,4	29,1	14,3
2001-2002	16,9	743,9	45,3	21,7	23,4	36,0	19,3
2002-2003	28,8	1060,9	87,9	45,7	51,5	45,1	43,9
2003-2004	17,6	512,3	30,5	28,9	33,2	24,0	16,6
2004-2005	2,9	129,9	2,3	2,5	7,7	3,7	3,0
2005-2006	8,9	410,3	6,1	8,4	26,5	24,1	14,8
2006-2007	8,1	367,0	18,7	6,6	21,3	28,9	11,3
2007-2008	9,1	452,4	7,9	10,6	18,5	16,9	8,6
Média	20,0	538,5	61,3	22,1	27,2	53,1	21,6
Total	320,1	8615,4	980,3	354,0	435,0	849,0	345,0

*Referente ao período de abril do primeiro ano a março do segundo ano. MFP: milho + feijão de porco/soja; SDES: solo descoberto; POU: milho/pousio/soja/pousio; AZEV: milho/azevém + ervilhaca/soja/azevém + ervilhaca; MUC: milho + mucuna/soja; CNA: campo nativo; NFO: milho/nabo forrageiro/soja/nabo forrageiro.

Os tratamentos constituídos por sistemas de culturas em plantio direto apresentaram, na análise sem considerar o solo descoberto, diferente resultado estatístico (Figura 47). O sistema POU obteve a maior perda de água acumulada no período, diferindo significativamente dos demais sistemas. Para fins de comparação, o solo sob campo nativo (CNA) apresentou perda de água numericamente inferior ao verificado no sistema POU, e maior que as verificadas nos demais sistemas. O menor volume absoluto de água perdida ocorreu no sistema MFP, que, por sua vez, não diferiu dos sistemas AZEV, MUC, e NFO.

Na comparação dos resultados de perdas de água (Figura 47) e dos resultados obtidos referentes às perdas de solo (Figura 33), desconsiderando o solo descoberto (SDES), diferenças quanto a colocação dos tratamentos na ordem hierárquica são constatadas, indicando que os mecanismos responsáveis pelas

perdas de água e solo são diferenciados, assim como já constatado por Volk et al. (2004).

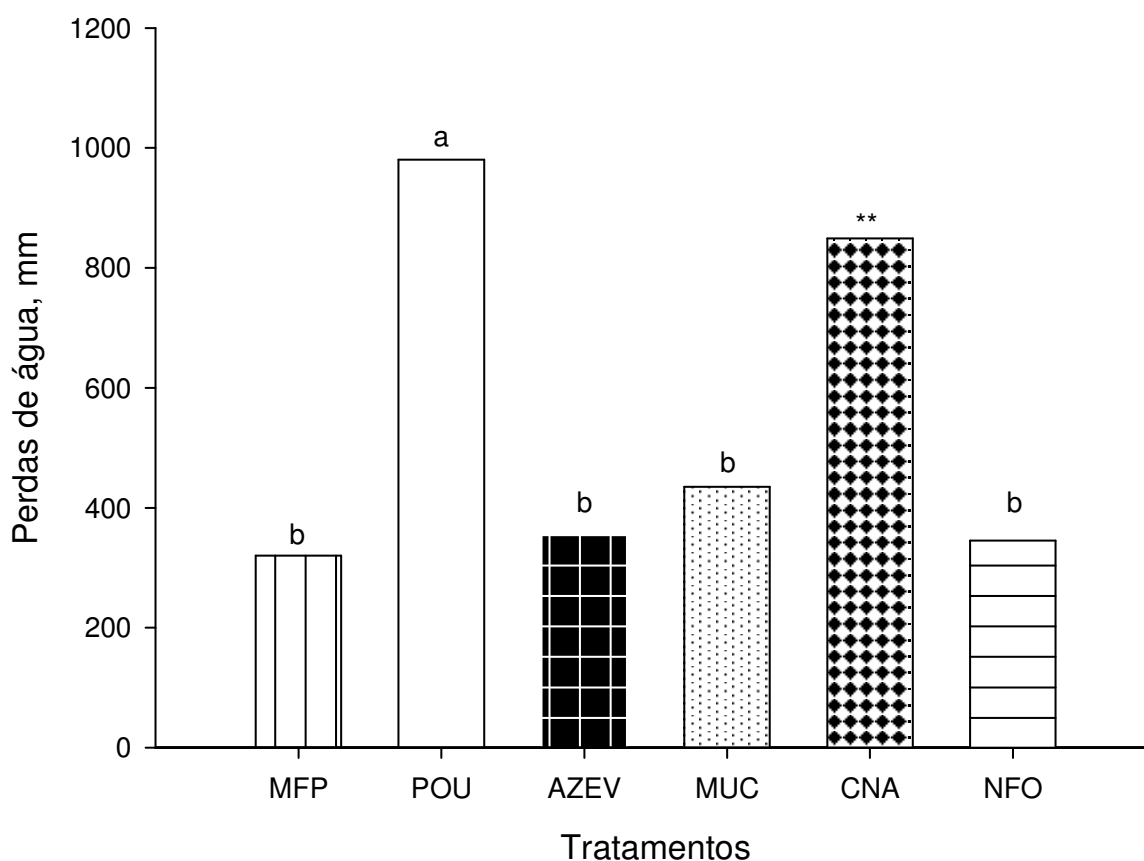


Figura 47. Perdas de água acumuladas em 16 anos de condução de um experimento com diferentes sistemas de culturas sob plantio direto, e num campo nativo, em um Argissolo Vermelho de Santa Maria - RS. (MFP: milho + feijão de porco/soja; POU: milho/pousio/soja/pousio; AZEV: milho/azevém + ervilhaca/soja/azevém + ervilhaca; MUC: milho + mucuna/soja; CNA: campo nativo; NFO: milho/nabo forrageiro/soja/nabo forrageiro). *Barras seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$). **Não avaliado no teste estatístico.

O solo sob campo nativo possui cobertura vegetal formada por plantas da família gramínea, principalmente, e estas possuem um sistema radicular característico. Uma camada densa de raízes, aliada a cobertura permanente

proporcionada pela parte aérea das plantas, promoveu forte resistência a desagregação do solo superficial, resultando em diminuta perda de solo.

Porém, essa densa camada de raízes promoveu a ocupação de significativa parte da macroporosidade e da porosidade total do solo, especialmente na camada de 0,0 – 0,05 m. Como existe estreita relação entre porosidade e taxa de infiltração de água no solo, essa característica do campo nativo proporcionou, dependendo do volume de precipitação, rápido preenchimento do espaço poroso com água e o excedente acabou gerando escoamento superficial e enxurradas (Bertol et al. 2008), refletindo-se nas elevadas perdas totais de água deste sistema (Figura 47).

4.4.3 Precipitação pluviométrica e erosividade da chuva

A Tabela 26 apresenta a precipitação pluviométrica ocorrida desde abril de 1992 até março de 2008, obtida de pluviogramas produzidos no 8º Distrito de Meteorologia de Santa Maria, localizado no Departamento de Fitotecnia da UFSM, distante aproximadamente 1 km das parcelas experimentais. Os valores denominados “normais” são as médias do período compreendido entre 1961 a 1990 (30 anos), obtidos na mesma estação meteorológica, para fins de analisar a variação ocorrida na precipitação mensal e total de cada ano de execução do presente experimento.

Observa-se que a precipitação total variou entre 973 mm, no ano de menor precipitação (2004), e 2685 mm, no ano em que ocorreu a maior precipitação (2002) durante a execução do experimento. Porém, a média anual obtida durante a condução do experimento (1663 mm) ficou apenas 18 mm abaixo da média anual normal (1681 mm). Com relação ao total de chuvas ocorridas em cada mês, em cada ano, observa-se significativa variação, com valores variando de 0 a 425 mm.

A maior diferença encontrada entre as médias mensais observadas e a média mensal normal foi referente ao mês de outubro, totalizando 45 mm de chuva a mais do que o normal. Já para o mês de agosto, a diferença entre a média observada e a média normal foi de 35 mm de chuva a menos do que o normal.

Tabela 26. Precipitação pluviométrica mensal e anual obtida de registros de pluviômetro instalado no 8° Distrito de Meteorologia de Santa Maria - RS, localizado no Departamento de Fitotecnia da UFSM, no período compreendido entre abril de 1992 a março de 2008

	Precipitação pluviométrica, mm												
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total
1992				217	157	142	127	83	152	134	77	67	1156
1993	366	88	109	62	234	97	195	18	74	204	241	172	1860
1994	60	314	48	177	277	181	198	155	124	251	110	120	2015
1995	131	107	162	32	41	92	198	103	32	80	10	76	1064
1996	391	136	53	108	00	126	32	143	52	94	40	199	1374
1997	93	187	26	49	120	123	71	120	77	392	181	278	1717
1998	238	140	145	425	91	57	157	152	180	47	114	87	1833
1999	99	127	00	138	161	121	183	39	74	175	34	62	1213
2000	226	78	167	78	149	262	94	99	242	185	204	154	1938
2001	310	125	144	249	57	179	201	68	237	165	108	77	1920
2002	111	101	252	183	213	174	238	283	306	349	243	232	2685
2003	177	204	296	203	35	124	82	24	101	190	214	268	1918
2004	97	15	99	96	87	68	65	78	79	103	129	57	973
2005	49	59	55	276	183	287	56	81	212	284	57	102	1701
2006	197	45	80	70	81	77	106	75	154	209	134	37	1265
2007	170	161	173	122	102	131	75	112	204	172	44	172	1638
2008	101	131	110										342
Média	176	126	120	155	124	140	130	102	144	190	121	135	138
Normal*	145	130	151	134	129	144	148	137	153	145	132	133	140

*Normal corresponde à média de 30 anos de observações, entre 1961 e 1990.

Pela média observada no período de 30 anos (1961-1990), o mês que apresentou maior volume de precipitação pluviométrica em Santa Maria – RS foi setembro, com 153 mm, e o mês com menor volume de precipitação foi maio, com 129 mm. Silva et al., (2007) analisaram 36 anos de dados de precipitação pluviométrica (1968 até 2004) no município de Santa Maria, RS, e encontraram que as chuvas são mais freqüentes e em menor quantidade durante os meses de junho, julho e agosto, porém, a altura total de precipitação desses meses foi muito semelhante aos demais meses do ano. Encontraram também elevada variabilidade na probabilidade de ocorrência de alturas de precipitação ao longo do ano, bem como elevada variabilidade na distribuição do número de dias com precipitação nos meses do ano.

Alguns meses registraram ausência de precipitação (maio de 1996 e março de 1999). Valores extremos de déficit hídrico também foram registrados em

várias vezes, como por exemplo, as quantidades de 18, 10 e 15 mm de chuva em agosto, novembro e fevereiro dos anos de 1993, 1995 e 2004, respectivamente. Por outro lado, valores extremos de precipitação também foram verificados, como as quantidades verificadas de 391, 392 e 425 mm de chuva em janeiro, outubro e abril dos anos de 1996, 1997 e 1998, respectivamente.

Do total de dezesseis anos de avaliação da precipitação, em nove anos o total anual de chuva ficou acima da média histórica do período 1961-1990 (1681 mm), e nos anos restantes, com exceção de 1999, 2004 e 2006, o total situou-se próximo a média normal. Anos em que as precipitações totais situam-se muito acima ou muito abaixo das médias históricas normais são consequência direto de alterações na temperatura dos oceanos, que provoca fenômenos caracterizados como “El niño” (elevadas precipitações), verificado em 1994 e 2002, e “La niña” (precipitação muito abaixo do normal), ocorrida em 1995 e 2004.

Na Figura 48 observa-se que a variação anual da precipitação pluviométrica durante os anos de execução do experimento acompanhou um tipo de padrão ou tendência, sendo semelhante com o que foi constatado com as perdas mensais de solo e água, e também apresentou ciclos alternados entre precipitações acima e abaixo da média normal histórica.

Os fenômenos climáticos anteriormente citados interferiram de maneira direto no total anual de precipitação ocorrido, porém, não significa que em anos em que não ocorreram estes fenômenos a precipitação total foi necessariamente próxima a média normal do período de 30 anos.

Deve-se considerar ainda que para fins de comparação e obtenção de médias confiáveis, quanto à precipitação pluviométrica, períodos de 30 anos ou mais devem ser computados nos cálculos, devido a elevada variabilidade temporal deste elemento climático.

O índice de erosividade da chuva, que representa o potencial que a chuva tem em causar erosão hídrica do solo, durante o período de abril de 1992 a março de 2008, é apresentado na Tabela 27. Os valores de erosividade dos meses de abril a dezembro de 1995 e de janeiro a março de 1996 foram compilados de Cogo et al. (2006), que obtiveram os mesmos através de dados de precipitação pluviométrica coletados em outra estação meteorológica, também em Santa Maria, RS, porém distante 15 km em linha reta da área experimental.

A grande variação encontrada nos valores de erosividade da chuva acompanhou o que foi verificado com a precipitação, apresentada na Tabela 26, uma vez que para a determinação de seu valor, entre outros, utilizou-se a intensidade máxima de cada chuva em 30 minutos.

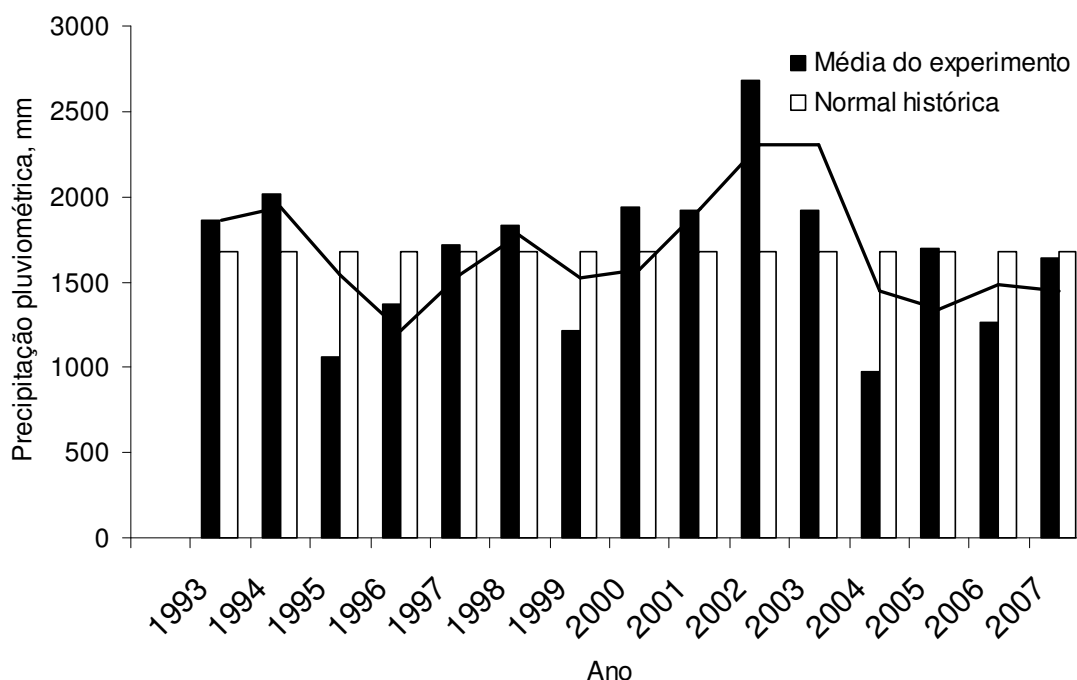


Figura 48. Precipitação pluviométrica total anual, entre os anos 1993 e 2007, registradas no 8º Distrito de Meteorologia de Santa Maria - RS. *Normal corresponde à média de 30 anos de observações, entre 1961 e 1990.

Os valores médios mensais observados indicam que os meses de outubro, dezembro, janeiro e março foram os meses em que ocorreram as chuvas mais erosivas, coincidindo com o período destinado ao ciclo das culturas de verão. A média mais alta foi do mês de janeiro, com $1325 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$, enquanto, o mês de agosto foi o que apresentou o menor valor mensal médio de erosividade da chuva, com $308 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$, seguido, muito próximo, dos meses de maio, junho e julho.

Observa-se que o período de inverno apresentou ao longo do período de execução do experimento, as menores precipitações registradas (Tabela 26), fato que também foi constatado com a erosividade da chuva (Tabela 27), o que reforça a

relação direta entre volume precipitado e erosividade da chuva, também visualizado na Figura 49.

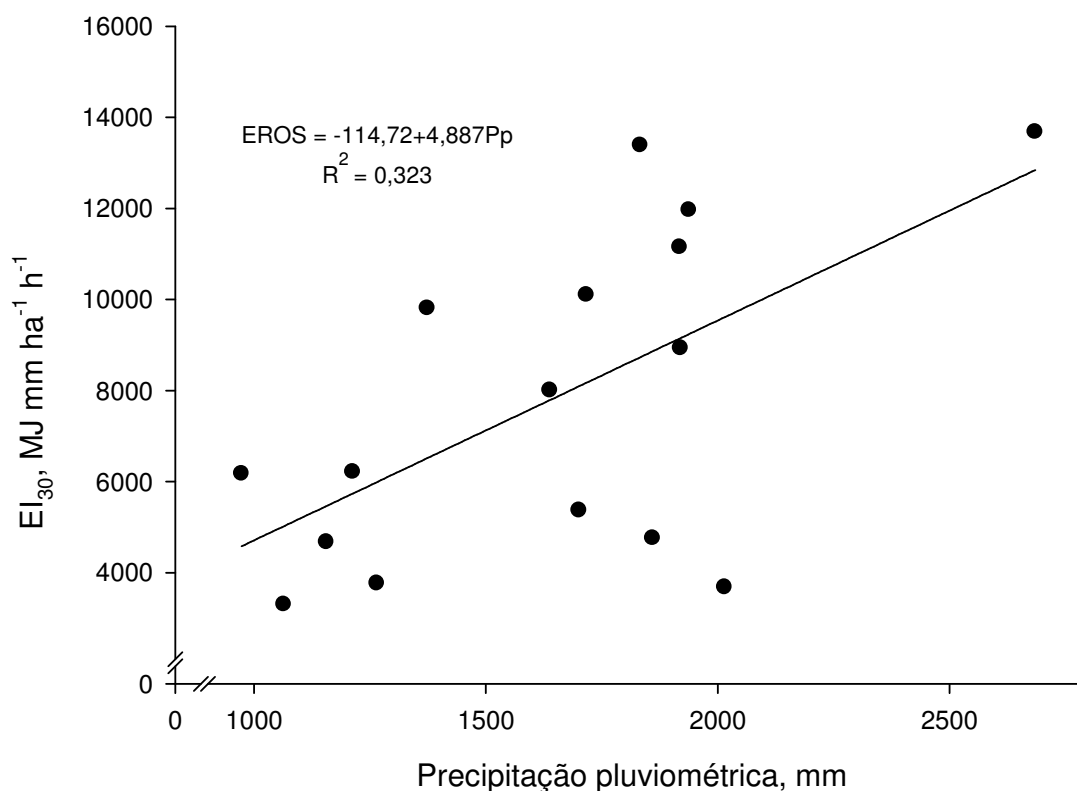


Figura 49. Relação entre a erosividade total anual da chuva e a precipitação pluviométrica total anual, para o período compreendido entre abril de 1992 e março de 2008.

Os dados reforçam também o cuidado que deve ser dispensado quanto às operações de preparo do solo por ocasião da implantação das culturas de verão. Solo revolvido e exposto à ação erosiva da chuva determina perdas de solo e água na magnitude como foi demonstrado nas Figuras 32 e 46, respectivamente. Em relação ao somatório das erosividades mensais de cada ano, destacam-se, com valores totais de 13679, 13387, 11962 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹, os anos de 2002, 1998, e 2000, respectivamente. Cogo et al. (2006) avaliaram a erosividade da chuva e a precipitação ocorrida no período de 1963 a 2000 no município de Santa Maria, RS, e encontraram dados semelhantes ao do presente estudo, com a média do período de

outubro a março representando 58,5% da precipitação e 69,1% da erosividade da chuva, calculada também pelo índice EI_{30} .

Segundo Flanagan et al. (1988) e Mehl et al. (2001), chuvas de mesma altura podem apresentar perdas de solo e água diferenciadas, o que ocorre devido a localização do pico de maior intensidade desta mesma chuva. Analisando 3872 chuvas ocorridas no município de São Borja, RS, Cassol et al. (2008) encontraram 76% da erosividade anual da chuva concentrada entre os meses de outubro a abril. Este período coincide com aquele destinado ao preparo do solo, plantio e condução das lavouras de verão no Estado do Rio Grande do Sul. Os autores encontraram também grande variabilidade nos valores médios mensais de precipitação, com extremos variando de 1,5 a 586 mm de chuva num único mês, reforçando o entendimento de que a cobertura e proteção da superfície do solo devem ser preconizadas durante o ano inteiro, sem exceção.

A comparação entre os períodos outubro-março e abril-setembro indica que, embora as precipitações sejam ligeiramente superiores no período de verão, a erosividade da chuva apresenta um incremento ou variação mais pronunciado neste mesmo período, indicando que as intensidades da chuva de cada período são diferenciadas, como pode ser analisado na Figura 50.

A maior perda de solo, perda de água, precipitação e erosividade da chuva no período outubro-março, em relação ao período abril-setembro, adquire extrema importância e deve ser de conhecimento de todos os envolvidos no setor de produção agrícola, a fim de maximizar técnica e economicamente os insumos aplicados nas propriedades, e evitar problemas econômicos e ambientais, de difícil remediação.

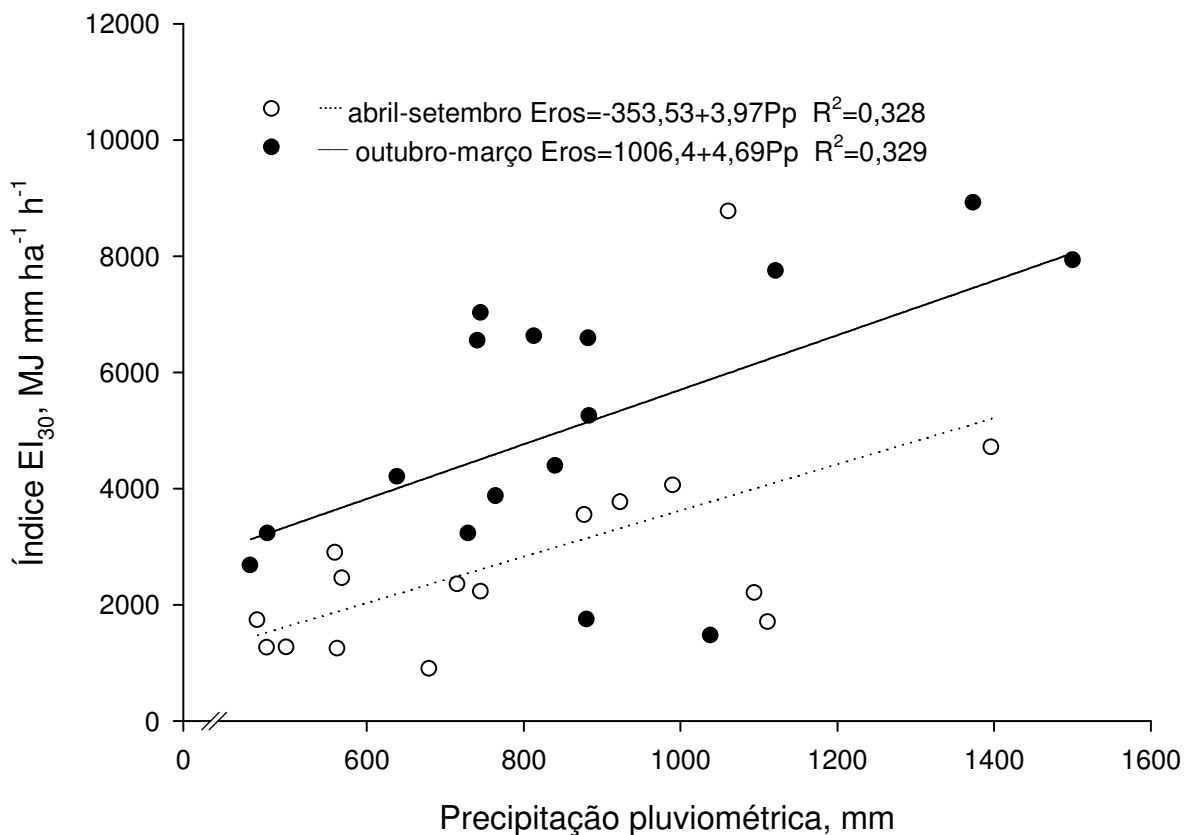


Figura 50. Relação entre erosividade da chuva e precipitação pluviométrica, para os períodos compreendidos entre os meses de abril a setembro e de outubro a março de cada ano de condução de um experimento de longa duração, em Santa Maria – RS.

Embora as relações encontradas na Figura 50, para os dois períodos, sejam muito próximas (coeficientes de determinação R^2 praticamente iguais), pela análise das retas projetadas observa-se que para o período outubro-março a mesma encontra-se em nível superior ao do outro período, com seus pontos concentrados nos maiores valores de erosividade da chuva.

Tabela 27. Erosividade mensal, anual, e total da chuva, calculada pelo índice EI_{30} , no período de abril de 1992 a março de 2008

Erosividade da chuva, MJ mm ha ⁻¹ h ⁻¹														
Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total ¹	Média ²
1992				1292	351	664	143	565	524	423	269	443	4674	519
1993	2424	355	466	72	426	108	157	000	127	195	316	114	4760	397
1994	23	747	65	295	569	285	242	152	153	665	253	231	3680	307
1995	126	125	340	153*	79	247	517	231	32	612	000	843	3305	275
1996	4088	1133	339	633	000	414	76	438	165	188	95	2237	9806	817
1997	582	1092	000	229	729	686	284	749	209	2138	1106	2298	10102	842
1998	2194	663	513	5274	169	611	720	577	1413	111	639	503	13387	1116
1999	1246	720	000	318	711	660	429	59	164	608	33	1266	6214	518
2000	2652	645	1334	89	577	1292	313	197	1290	247	1156	2170	11962	997
2001	2265	520	1382	1054	110	601	1393	375	517	142	359	215	8933	744
2002	552	742	4607	657	703	622	706	957	1059	1237	980	857	13679	1140
2003	739	815	3296	1258	96	641	201	164	86	1365	1184	1304	11149	929
2004	1379	30	1317	300	184	432	113	72	151	899	889	407	6173	514
2005	217	105	150	445	690	98	37	84	841	1487	139	1075	5368	447
2006	722	266	175	160	172	154	175	187	385	853	417	99	3765	314
2007	1605	1577	693	584	362	298	163	114	695	954	30	927	8002	667
2008	393	323	592										1308	436
Total ³	21207	9858	15269	12813	5928	7813	5669	4921	7811	12124	7865	14989	126267	646
Média ⁴	1325	616	954	801	371	488	354	308	488	758	492	937	658	

*Os valores referentes aos meses de abril a dezembro de 1995 e de janeiro a março de 1996 foram extraídos de Cogo et al., (2006). ¹Corresponde ao somatório de todos os meses de cada ano. ²Corresponde à média mensal dentro de cada ano de avaliação. ³Corresponde ao somatório de cada mês em todos os anos de avaliação. ⁴Corresponde à média mensal de todos os anos avaliados. Dados de precipitação pluviométrica obtidos na Estação Meteorológica do 8º Distrito de Meteorologia de Santa Maria, localizado no Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Santa Maria, RS

As Figuras 51 e 52 apresentam, respectivamente, a relação entre as perdas totais de água em cada ano de execução do experimento, e as perdas totais de solo, e as mesmas relações entre perdas de solo e água nos períodos abril-setembro e outubro-março.

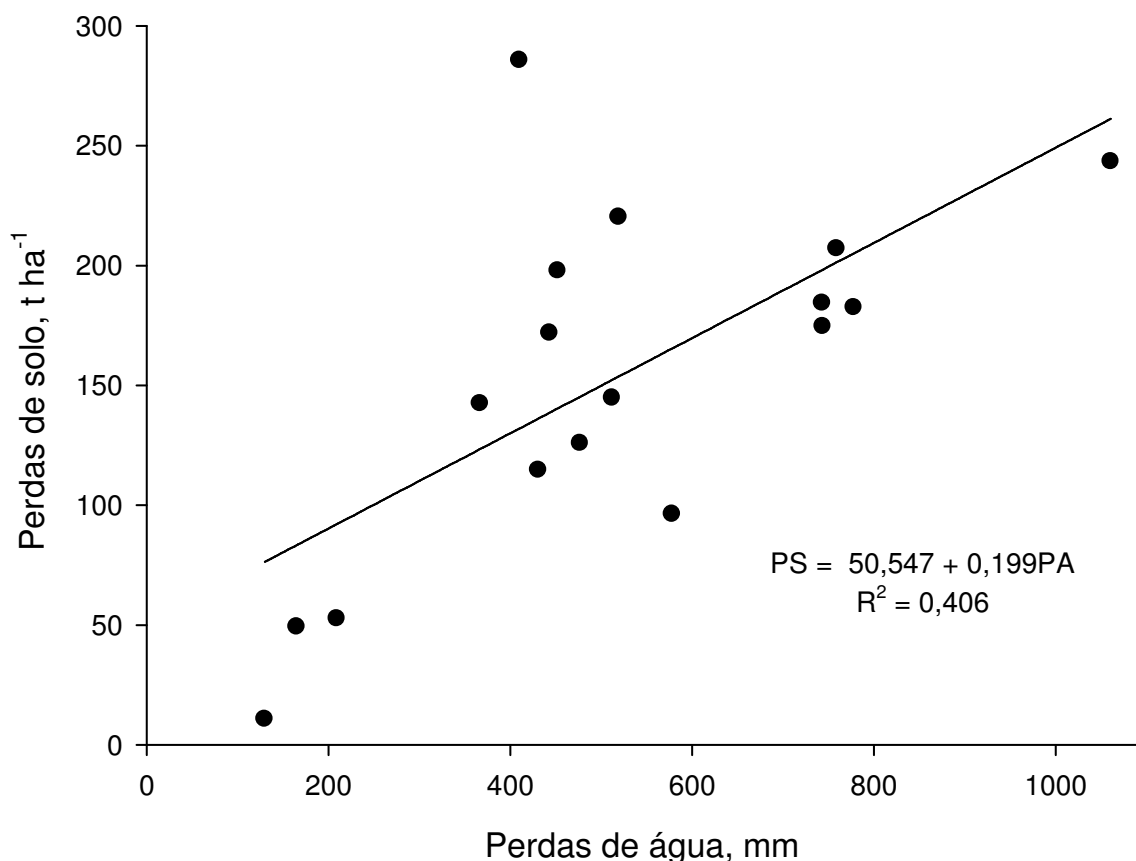


Figura 51. Relação entre perdas de água anuais e perdas de solo anuais, verificadas na parcela padrão do experimento de perdas de solo, em um Argissolo Vermelho de Santa Maria – RS.

Maiores perdas de solo são teoricamente esperadas conforme ocorre o aumento nas perdas de água. Após o impacto da gota da chuva no agregado superficial do solo e seu conseqüente rompimento, inicia-se o processo de transporte e deposição, completando as fases da erosão hídrica.

A água é o meio de condução das partículas sólidas do solo em direção as partes mais baixas do relevo, e conforme se incrementa o volume de enxurrada, aumentam as perdas de água. Em função dessa maior perda de água, ocorrem maiores perdas de solo, concordando com a correlação obtida na Figura 51.

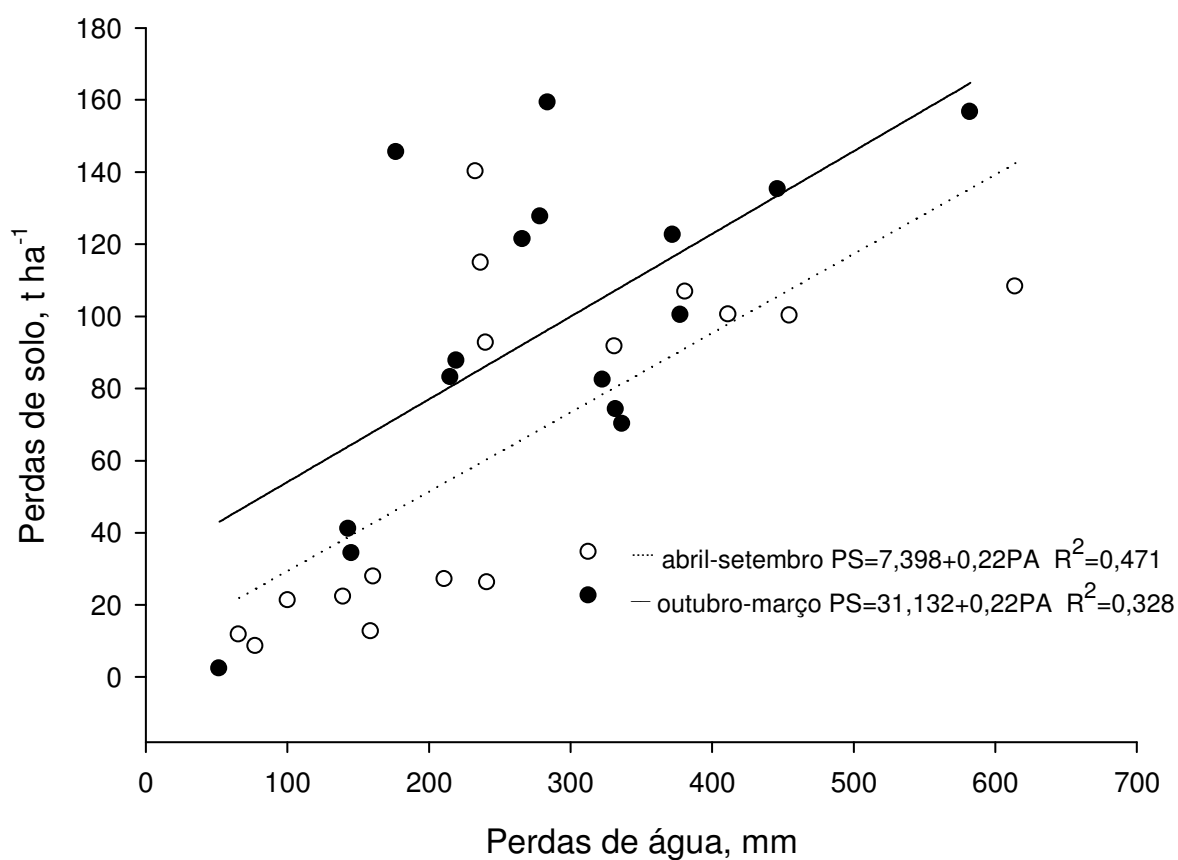


Figura 52. Relação entre perdas de água e perdas de solo nos períodos abril-setembro e outubro-março de cada ano de execução do experimento, verificadas na parcela padrão do experimento de perdas de solo, em um Argissolo Vermelho de Santa Maria – RS.

O período abril-setembro apresentou correlação entre perdas de solo e perdas de água ligeiramente superior a encontrada no período outubro-março, o que deve ser atribuído à provável maior quantidade de água disponível no solo e por maior período de tempo nesses meses, deixando o solo mais próximo de sua

capacidade máxima de infiltração de água, e próximo também do início de enxurradas.

Bertol et al. (2007) encontraram maior concentração de sedimentos do solo na água da enxurrada com o aumento da intensidade da chuva e o volume de água perdida, atribuindo o resultado ao fato de que o solo tem capacidade limitada de infiltração de água, e com elevado volume de precipitação, a água excedente promove escoamento superficial e enxurradas.

Volk et al. (2004) citam que por mais conservacionista que seja o manejo do solo e plantas, perdas de água serão verificadas e, em consequência, alguma perda de solo é esperada. Os resultados obtidos para o campo nativo comprovam tal afirmativa, uma vez que o solo mantido nesta condição possui cobertura vegetal permanente, encontra-se em estado de equilíbrio natural e, mesmo assim, apresenta perdas de água por enxurradas. É verdade que foi o sistema que melhor conservou o solo, em comparação com os demais tratamentos testados no presente experimento, porém, embora diminuta, alguma quantidade de sedimento foi removida.

4.4.4 Erodibilidade (fator “K”) e cobertura e manejo (fator “C”) do solo

Erodibilidade é a suscetibilidade do solo em sofrer erosão hídrica, e é dependente de suas características intrínsecas. Na Equação Universal de Perdas de Solo, proposto por Wischmeier & Smith (1978) a erodibilidade do solo é representada pelo fator “K”.

De maneira aplicada, fator K significa a quantidade de solo perdida em uma parcela padrão de experimentos de perdas de solo e água (solo descoberto e preparado convencionalmente no sentido da declividade) por unidade de erosividade da chuva naquele determinado local.

Para o período correspondente entre abril de 1992 e março de 2008, a erodibilidade do solo é apresentada na Tabela 28.

Tabela 28. Erodibilidade (fator K) de um Argissolo Vermelho, no período compreendido entre abril de 1992 e março de 2008, em Santa Maria –RS

ANO**	Perdas de solo (parcela padrão)	Erosividade da chuva*	Erodibilidade do solo (fator K da EUPS)
	t ha ⁻¹ ano ⁻¹	MJ mm ha ⁻¹ h ⁻¹	t ha h ha ⁻¹ MJ ⁻¹ mm ⁻¹
1992-1993	299,69	7919	0,038
1993-1994	384,11	2350	0,163
1994-1995	318,28	3436	0,093
1995-1996	167,86	8274	0,020
1996-1997	89,39	5920	0,015
1997-1998	321,55	11798	0,027
1998-1999	219,39	11983	0,018
1999-2000	199,96	8879	0,023
2000-2001	361,14	11498	0,031
2001-2002	304,52	10667	0,029
2002-2003	424,50	12628	0,034
2003-2004	252,36	9025	0,028
2004-2005	18,66	3919	0,005
2005-2006	498,22	6059	0,082
2006-2007	248,49	6477	0,038
2007-2008	323,18	5435	0,059
Média	276,95	7892	0,044

*Calculada pelo índice EI_{30} ** Correspondente ao período de abril a março do primeiro e segundo ano, respectivamente.

Pelos valores de erodibilidade do solo pode-se realizar uma classificação geral dos solos em diferentes classes de suscetibilidade à erosão hídrica, e segundo Foster et al. (1981), solos de baixa resistência à erosão apresentam valores de erodibilidade ou fator K elevados ($0,060 \text{ Mg ha h ha}^{-1} \text{ MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$), solos de resistência moderada a erosão apresentam valores intermediários de erodibilidade ($0,030 \text{ Mg ha h ha}^{-1} \text{ MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$), enquanto solos de elevada resistência a erosão apresentam valores baixos de erodibilidade ($0,010 \text{ Mg ha h ha}^{-1} \text{ MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$).

Os valores obtidos em cada ano de execução do experimento demonstraram elevada variabilidade, com valores máximos de 0,163 e 0,093 $\text{Mg ha h ha}^{-1} \text{ MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$, nos anos 1993-1994 e 1994-1995, respectivamente, e com valores mínimos de 0,005 e 0,015 $\text{Mg ha h ha}^{-1} \text{ MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$, nos anos 2004-2005 e 1996-1997, respectivamente. Levando em consideração a média geral do período 1992-2008, o valor obtido para o solo estudado foi de $0,044 \text{ Mg ha h ha}^{-1} \text{ MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$, situando-se na escala sugerida por Foster et al. (1981) entre solo moderadamente resistente a altamente suscetível à erosão hídrica. Cabe destacar que a classificação

proposta foi determinada em outros tipos de solo e em outras condições de clima e regime de precipitação, e a comparação entre os resultados e a classificação nesta escala deve ser cautelosa.

Graficamente é possível determinar a erodibilidade do solo e, para isto, deve ser feita a relação linear entre as perdas de solo verificadas na parcela padrão e a erosividade da chuva para o mesmo período de tempo, onde o fator K é correspondente ao coeficiente b da equação gerada. Este valor pode ser observado na Figura 53, para o período total do experimento. O valor obtido graficamente foi de $0,006 \text{ Mg ha h ha}^{-1} \text{ MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$, e situou-se consideravelmente abaixo dos valores encontrados pelo método direto (Tabela 28), indicando que este método (gráfico) subestima a erodibilidade do solo observada com dados obtidos em condições reais. Deve ser considerado, ainda, que as diferenças nos valores do fator K nos anos avaliados são consequência das variações na erosividade da chuva, uma vez que os demais fatores necessários para sua obtenção não são alterados.

Bertol et al. (2007) citam que a elevada variabilidade temporal e espacial da erodibilidade do solo é devido em parte à variabilidade climática de cada região e época do ano, bem como à variação existente na umidade do solo antecedente às precipitações promotoras das perdas de solo verificadas na parcela padrão.

Com relação a esta parcela experimental, o fenômeno provocado pelo impacto das gotas de chuva na superfície do solo, denominado selamento superficial, pode acarretar diferenças significativas no que se refere à quantidade de água no escoamento superficial e conseqüentemente na quantidade de solo carregado em suspensão. Esse efeito se deve à dificuldade da água infiltrar e, no momento em que inicia a enxurrada, a superfície do solo que apresenta o selamento funciona como uma espécie de acelerador da velocidade de deslocamento da água, resultando em maior perda de água do que perda de solo. Tal constatação foi observada também por Eltz & Norton (1997) que atribuíram o resultado à diminuição da rugosidade superficial do solo provocada pela ação da erosividade da chuva. O reflexo é observado nos valores de erodibilidade do solo apresentados em alguns anos de execução do experimento (Tabelas 28).

O conhecimento da erodibilidade do solo é importante para fins de planejamento das práticas agrícolas que envolvem o manejo de solo, e esse conhecimento, preferencialmente o seu comportamento durante o ano, serve de alerta para os determinados períodos em que podem ocorrer elevadas precipitações

e elevados índices de erosividade da chuva, com o intuito de prevenir danos econômicos e ambientais decorrentes das perdas de solo, água e nutrientes carregados pela enxurrada.

Valores de erodibilidade do solo foram obtidos por diferentes autores para diferentes tipos de solo. Como exemplo, o valor de $0,011 \text{ t ha h ha}^{-1} \text{ MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ obtido por Bertol et al. (2002) para um Cambissolo; $0,021 \text{ t ha h ha}^{-1} \text{ MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ obtido por Wunsch & Denardin (1980) para um Latossolo e de $0,033 \text{ t ha h ha}^{-1} \text{ MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ obtido por Marques et al. (1997) para um Argissolo.

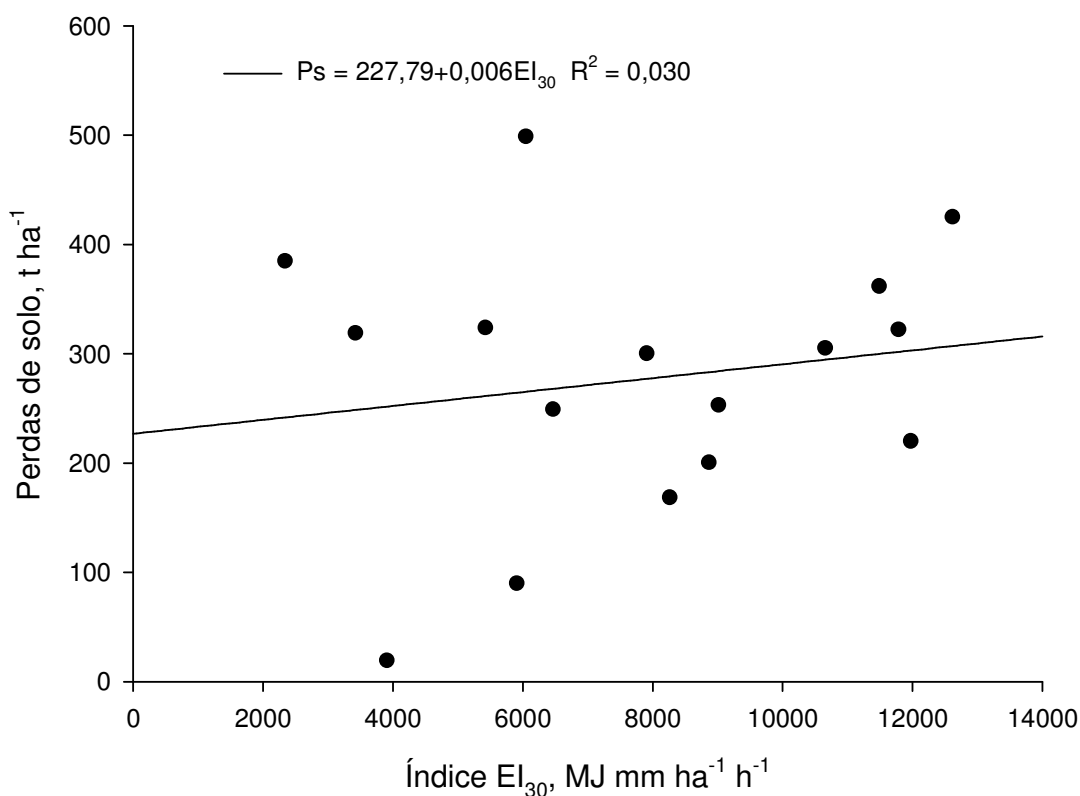


Figura 53. Relação entre a erosividade total anual da chuva (EI_{30}) e perdas totais de solo verificadas na parcela padrão do experimento de perdas de solo e água, em um Argissolo Vermelho de Santa Maria – RS.

Teoricamente, se considera os solos mais argilosos, como os Latossolos, mais resistentes a erosão hídrica, e, por conseguinte, os solos mais arenosos seriam

os de menor resistência. Porém, deve-se ter o cuidado no momento de realizar a comparação entre os diferentes resultados apresentados na literatura, uma vez que os mecanismos que governam as perdas de solo e água são dependentes não apenas de cada tipo de solo, mas sim de um conjunto de variáveis, entre eles assumindo fundamental importância o conteúdo de água no solo no momento antecedente a ocorrência da chuva causadora das perdas de solo utilizadas nos cálculos de erodibilidade.

Outro fator que desencadeia a variabilidade existente nos valores de erodibilidade da Tabela 28, é que os dados de perdas de solo utilizados nos cálculos foram considerados no total de cada ano. Dessa maneira, a ocorrência de eventos isolados de elevado impacto na perda de solo pode ter seu efeito diluído num período de tempo maior, mascarando o real valor de erodibilidade do solo. Em outras palavras, isso significa que um evento de precipitação pluviométrica isolado, durante um determinado mês do ano, pode ser o responsável pelo elevado valor de perda de solo daquele ano, como constatado nos resultados apresentados em Amado et al. (2002) e, em consequência, pelo elevado valor de erodibilidade.

A razão de perdas de solo (RPS), obtida pela divisão do valor de perdas de solo de determinada cultura pelo valor obtido na parcela com solo mantido permanentemente (SDES), é um parâmetro comparativo entre determinadas culturas e serve como auxílio na previsão de perdas de solo por erosão hídrica em planejamentos conservacionistas. Seu conhecimento é utilizado para a obtenção do valor do fator "C" (fator cobertura vegetal) da Equação Universal de Perdas de Solo – EUPS (Wischmeier & Smith, 1978).

As Tabelas 29 e 30 apresentam a razão de perdas de solo (RPS) para cada sistema de culturas avaliado, e para o campo nativo, para os dois períodos referentes aos ciclos de inverno (plantas de cobertura de inverno) e de verão (soja, milho).

Observa-se elevada variação nos valores de RPS em cada ano e cultura avaliada, porém, as médias encontradas foram muito próximas, com exceção do verificado no campo nativo. Como no presente estudo não foi feita a divisão apropriada dos estádios de desenvolvimento das culturas, considerou-se os valores médios mensais de RPS, respectivo a cada período, como a RPS daquela cultura avaliada no determinado período.

Tabela 29. Razão de perdas de solo (RPS) estimada para cada cultura utilizada no período abril-setembro (referente às plantas de cobertura do solo de inverno), nos respectivos anos em que foram cultivadas

Razão de perdas de solo				
Tratamentos				
ANO*	POU	AZEV	CNA	NFO
1996	0,0011	0,0019	0,0003	0,0012
1998	0,0036	0,0008	0,0007	0,0027
2000	0,0011	0,0007	0,0005	0,0002
2001	0,0004	0,0003	0,0002	0,0003
2002	0,0017	0,0015	0,0006	0,0005
2003	0,0009	0,0010	0,0004	0,0002
2004	0,0007	0,0001	0,0001	0,0004
2005	0,0003	0,0002	0,0001	0,0020
2006	0,0002	0,0000	0,0008	0,0015
2007	0,0007	0,0021	0,0002	0,0010
Média	0,0011	0,0009	0,0004	0,0010

*Referente ao período compreendido entre os meses de abril a setembro de cada ano.

**POU=pousio invernal; AZEV=azevém + ervilhaca comum; CNA=campo nativo; NFO=nabo forrageiro.

Assim, no período destinado ao cultivo das plantas de cobertura de inverno (Tabela 29), o campo nativo apresentou a maior eficiência na redução das perdas de solo, em relação ao solo descoberto (RPS = 0,0004). O sistema de pousio invernal apresentou RPS superior aos demais tratamentos, porém com valor muito próximo aos tratamentos NFO e AZEV. Aqui deve ser considerado que em alguns anos houve infestação natural por azevém nas parcelas submetidas ao pousio invernal, e também que neste sistema de manejo ocorreu o desenvolvimento de plantas daninhas invasoras e que, por menor que tenha sido a produção vegetal por essas plantas, promoveram determinada cobertura do solo e por isso podem ter sido também responsáveis por parte das diferenças constatadas em cada ano.

Entre as plantas de cobertura de inverno cultivadas o consórcio entre azevém + ervilhaca proporcionou o melhor resultado (RPS = 0,0009), seguido do cultivo de nabo forrageiro (RPS = 0,0010).

Tabela 30. Razão de perdas de solo (RPS) estimada para as culturas da soja e milho, no período outubro-março, nos respectivos anos em que foram cultivadas, e para o campo nativo no respectivo período

Razão de perdas de solo			
ANO *	Culturas		
	Soja **	Milho ***	CNA
1994-1995	-	0,0081	0,0001
1995-1996	0,0014	-	0,0004
1996-1997	-	0,0024	0,0002
1997-1998	0,0024	-	0,0003
1998-1999	-	0,0017	0,0001
1999-2000	-	0,0016	0,0002
2000-2001	-	0,0003	0,0002
2001-2002	-	0,0005	0,0001
2002-2003	0,0022	-	0,0008
2003-2004	-	0,0004	0,0006
2004-2005	0,0076	-	0,0018
2005-2006	-	0,0029	0,0002
2006-2007	0,0018	-	0,0006
2007-2008	-	0,0009	0,0003
Média	0,0031	0,0021	0,0004

*Referente ao período compreendido entre os meses de outubro do primeiro ano a março do segundo ano. **Corresponde ao culturas da soja no sistema de culturas POU, que seguiu a seqüência milho/pousio/soja/pousio; ***Corresponde ao culturas do milho no sistema de culturas POU, seguindo a seqüência milho/pousio/soja/pousio; CNA = campo nativo.

A proteção da superfície do solo permanentemente exercida pelo campo nativo explica o resultado obtido para a sua respectiva RPS, tanto no período de outono-inverno (abril-setembro) quanto no período de primavera-verão (outubro-março) (Tabela 30), concordando com os resultados obtidos por Dedek et al. (1986), para uma vegetação permanente composta por gramíneas, e Dechen et al. (1981) que também encontraram maior eficiência de gramíneas do que leguminosas no controle a erosão hídrica.

A cultura do milho apresentou RPS de 0,0021, ou seja, 32,3% inferior a RPS verificada na cultura da soja, que obteve o valor de RPS de 0,0031, sendo atribuído o resultado à diferenciada cobertura do solo exercida pela cultura, assim como ao diferenciado sistema radicular, e pela quantidade maior de matéria seca

aportada ao solo por esta cultura. Em comparação com a RPS verificada no campo nativo no período de verão ($RPS = 0,0004$), a cultura da soja mostrou valor de RPS 7,75 vezes maior, enquanto a cultura do milho foi 5,25 vezes superior. Em termos práticos, os valores de RPS indicam que a cultura do milho tem maior eficiência em evitar perdas de solo por erosão hídrica do que a cultura da soja. Cabe destacar, porém, que as duas culturas apresentaram baixos valores de RPS, sendo consideradas, as duas, eficientes em conservar o solo.

Nos ciclos de verão dos anos 1995-1996, 1997-1998, 2002-2003, 2004-2005 e 2006-2007 foi cultivada a cultura da soja, seguida de pousio invernal, o que determinou menor quantidade de resíduos produzidos e menor tempo de permanência destes na superfície do solo exercendo efeito de cobertura, em relação aos demais anos em que se cultivou o milho. A diferença entre as duas culturas é verificada pelos valores de RPS, onde a cultura do milho destacou-se positivamente no quesito proteção do solo frente a ação erosiva da chuva (Tabela 30).

Bertol et al. (2001) obtiveram RPS de 0,0076 para o período de inverno, com a cultura de aveia preta, e de 0,0611 para o período de verão, com a cultura do milho, em um Cambissolo. Obtiveram também uma redução de 44% na erosão hídrica observada no sistema plantio direto do milho em comparação com outros sistemas de manejo do solo, atribuindo esse resultado ao efeito da camada de palha existente na superfície do solo submetido ao não revolvimento da camada superficial para fins de plantio das culturas agrícolas.

Na Tabela 31 são apresentadas as estimativas ou aproximações do fator “C” da Equação Universal de Perdas de Solo, para os sistemas de culturas estudados, nos anos em que foram utilizados durante a execução do experimento. Cada ano agrícola correspondeu aos períodos abril-setembro, destinado ao cultivo das plantas de ciclo de outono-inverno (pousio, azevém+ervilhaca, nabo forrageiro e campo nativo) e outubro-março, destinado ao cultivo das plantas de ciclo de primavera-verão (campo nativo, soja e milho).

O fator “C” da Equação Universal de Perdas de Solo – EUPS, é um parâmetro de difícil obtenção em condições de campo, devido às inúmeras possibilidades de combinações entre as variáveis que determinam seu valor (erosividade da chuva, erodibilidade do solo, práticas de manejo do solo e de suporte conservacionista, além da divisão do ciclo de cada cultura em diferentes estágios de desenvolvimento, conforme a cobertura do solo proporcionada pela copa

das plantas) (Prochnow et al., 2005). Amaral et al. (2008) concluíram que os valores de eficácia relativa da redução das perdas de solo por erosão hídrica podem ser utilizados como substitutos dos valores de fator C, para as condições daquele estudo, realizado em um Cambissolo Húmico, considerando que os resultados obtidos foram compatíveis e encontraram-se dentro da faixa normalmente reportada pela literatura para o tipo de solo e manejo testado.

Tabela 31. Estimativa do fator “C” da Equação Universal de Perdas de Solo, para diferentes sistemas de culturas, em cada ano em que foram utilizados, em um experimento de perdas de solo e água num Argissolo Vermelho de Santa Maria – RS

ANO*	Tratamento					
	MFP**	POU	AZEV	MUC	CNA	NFO
Fator "C" EUPS						
2001-2002	0,0004	0,0010	0,0004	0,0011	0,0003	0,0004
2002-2003	0,0008	0,0040	0,0027	0,0006	0,0012	0,0008
2003-2004	0,0006	0,0010	0,0017	0,0006	0,0011	0,0003
2004-2005	0,0014	0,0043	0,0012	0,0067	0,0009	0,0083
2005-2006	0,0011	0,0032	0,0009	0,0123	0,0004	0,0031
2006-2007	0,0040	0,0032	0,0008	0,0034	0,0012	0,0095
2007-2008	0,0019	0,0015	0,0056	0,0034	0,0004	0,0015
Média	0,0015	0,0026	0,0019	0,0040	0,0008	0,0034

*Referente ao período compreendido entre os meses de abril a março do primeiro e segundo ano, respectivamente. **MFP=milho + feijão de porco/resíduos de milho + feijão de porco/soja/pousio;POU=milho/pousio invernado/soja/pousio invernado; AZEV=milho/azevém + ervilhaca comum/soja/azevém+ervilhaca comum; CNA=campo nativo; NFO=milho/nabo forrageiro/soja/nabo forrageiro.

O fator “C” apresentado pelo campo nativo apresentou a mesma tendência dos valores obtidos com a RPS. Este sistema (CNA) pode ser considerado o mais eficiente em termos de proteção do solo aos efeitos da erosão hídrica, em especial à redução das perdas de solo. Entre os sistemas de culturas sob plantio direto, o tratamento MFP foi o que mais se aproximou do campo nativo, com fator C estimado em 0,0015. Em seguida, na ordem crescente dos valores de fator C, encontram-se os tratamentos AZEV, POU, NFO e MUC, com valores de 0,0019, 0,0026, 0,0034 e 0,0040, respectivamente.

A diferença constatada entre os sistemas MFP e MUC foi consideravelmente grande, e não era esperada, uma vez que os dois sistemas constituem consorciamento entre adubos verdes de verão com a cultura do milho.

Este resultado pode ser atribuído diretamente as características intrínsecas das duas culturas. A cultura da mucuna, que possui hábito de crescimento trepador, utiliza as plantas de milho para se fixar, enquanto o feijão de porco possui hábito de crescimento ereto e proporciona fechamento das entrelinhas da cultura do milho logo assim que seu crescimento vegetativo o permite.

O sistema que utiliza pousio todos os anos (POU) apresentou valor de fator C intermediário ao encontrado no sistema AZEV e NFO, o que pode ser justificado em parte, pela ocorrência de, em alguns anos, infestação natural de azevém, assim como por espécies de plantas invasoras que resistiram ao rigor do inverno gaúcho e também à aplicação de herbicidas.

Para o mesmo tipo de solo, também em sistema plantio direto, Bertol et al. (2002) obtiveram para a cultura do milho em rotação com outras culturas, valor de fator "C" de 0,0610, muito distante do valor obtido pela mesma cultura de milho, em rotação com outras culturas, no presente estudo. Para a cultura de aveia preta, os autores obtiveram valor de fator "C" de 0,0372, também acima dos valores encontrados para os sistemas de culturas que envolveram adubos verdes de inverno (Tabela 31). Os autores concluíram que maiores valores de fator "C" são esperados no período de verão em função da maior erosividade da chuva ocorrida normalmente nesse período.

DeMaria & Lombardi Neto (1997) encontraram para a cultura do milho, em diferentes tipos de manejo do solo, valor de fator "C" variando de 0,025 a 0,156, o que seria compatível com o resultado apresentado pela mesma cultura na Tabela 31. Valor muito acima do verificado pela cultura da soja no presente estudo foi obtido por Bertol et al. (2001) que encontraram, para um Cambissolo Húmico, valor de fator "C" de 0,0455, para a mesma cultura, cultivada também em sistema plantio direto.

4.5 CONCLUSÕES

1. A manutenção da superfície do solo exposta às condições climáticas e à ação erosiva da chuva, por longo período, para o tipo de solo, clima e declividade estudados, determinou a perda progressiva de uma camada de solo de aproximadamente 1 cm de espessura por ano, equivalente à perda de solo de aproximadamente $150 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$.

2. O sistema plantio direto promoveu perdas de água menores do que as verificadas em condições naturais de vegetação, como encontradas em um campo nativo. Em comparação com as perdas verificadas em solo permanentemente descoberto, a redução das perdas de solo pelo sistema plantio direto chegou a 99,9%.

3. O sistema plantio direto foi mais eficiente em reduzir as perdas de solo do que as perdas de água das áreas de cultivo.

4. As maiores precipitações e as chuvas mais erosivas ocorreram nos meses de outubro a março, coincidindo com o período destinado à implantação e a colheita de grãos das culturas de verão, para as condições de Santa Maria, RS.

5. Sistemas de culturas que utilizaram plantas de cobertura do solo de inverno, em rotação com as culturas de soja e milho, em plantio direto, proporcionaram excelente conservação do solo e água, assemelhando-se a condição natural de campo nativo.

4.6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AITA, C. & GIACOMINI, S.J. Decomposição e liberação de nitrogênio de resíduos culturais de plantas de cobertura de solo solteiras e consorciadas. R. Bras. Ci. Solo. 27:601-612, 2003.

AMADO, T.J.C; COGO, N.P. & LEVIEN, R. Eficiência relativa do manejo do resíduo cultural de soja na redução das perdas de solo por erosão hídrica. R. Bras. Ci. Solo. 13:251-257, 1989.

AMADO, T.J.C.; PROCHNOW, D. & ELTZ, F.L.F. Perdas de solo e água em períodos de anomalias climáticas: “El niño” e “La niña” no sul do Brasil. R. Bras. Ci. Solo. 26:819-827, 2002.

AMARAL, A.J.; BERTOL, I.; COGO, N.P. & BARBOSA, F.T. Redução da erosão hídrica em três sistemas de manejo do solo em um Cambissolo Húmico da região do planalto sul-catarinense. R. Bras. Ci. Solo. 32:2145-2155, 2008.

ANJOS, J.T.; UBERTI, A.; VIZZOTTO, V.J.; LAITE, G.B. & KRIEGER, M. Propriedades físicas em solos sob diferentes sistemas de uso e manejo. R. Bras. Ci. Solo, 18: 139-145, 1994.

BERTOL, I. Erosão hídrica em Cambissolo Húmico distrófico sob diferentes preparos do solo e rotação de culturas. R. Bras. Ci. Solo, 18:267-271, 1994.

BERTOL, I. Comprimento crítico de declive para preparos conservacionistas de solo. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 185p. (Tese de Doutorado).

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

BERTOL, I. & ALMEIDA, J.A. Tolerância de perda de solo por erosão para os principais solos do Estado de Santa Catarina. R. Bras. Ci. Solo, 24:657-669, 2000.

BERTOL, I.; BARBOSA, F.T.; FABIAN, E.L.; PEGORARO, R.; ZAVASCHI, E.; GONZALEZ, A.P. & VASQUEZ, E.V. Escoamento superficial em diferentes sistemas de manejo em um Nitossolo Háplico típico. *Rev. Bras. Eng. Agric. Amb.*, 12:243-250, 2008.

BERTOL, I.; COGO, N.P. & LEVIEN, R. Erosão hídrica em diferentes preparos do solo logo após as colheitas de milho e trigo, na presença e ausência de resíduos culturais. *R. Bras. Ci. Solo.* 21: 409-418, 1997.

BERTOL, I.; COGO, N.P.; SCHICK, J.; GUADAGNIN, J.C. & AMARAL, A.J. Aspectos financeiros relacionados as perdas de nutrientes por erosão hídrica em diferentes sistemas de manejo do solo. *R. Bras. Ci. Solo.* 31:133-142, 2007a.

BERTOL, I.; LEITE, D.; ENGEL, F.L.; COGO, N.P. & GONZALEZ, A.P. Erodibilidade de um Nitossolo Háplico alumínico determinada em condições de campo. *R. Bras. Ci. Solo.* 31: 541-549, 2007b.

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, O.; RIZZI, N.E.; BERTOL, I. & ROLOFF, G. Perdas de solo e água e qualidade do escoamento superficial associadas à erosão entre sulcos em área cultivada sob plantio direto e submetida às adubações mineral e orgânica. *R. Bras. Ci. Solo.* 31:781-792, 2007c.

BERTOL, I.; SCHICK, J. & BATISTELA, O. Razão de perdas de solo e fator C para as culturas de soja e trigo em três sistemas de preparo em um Cambissolo Húmico alumínico. *R. Bras. Ci. Solo.*, 25:451-461, 2001.

BERTOL, I.; SCHICK, J.; BATISTELA, O.; LEITE, D. & AMARAL, A.J. Erodibilidade de um Cambissolo Húmico alumínico léptico, determinada sob chuva natural entre 1989 e 1998 em Lages (SC). *R. Bras. Ci. Solo.*, 26:465-471, 2002.

BERTONI, J. & LOMBARDI NETO, F. Conservação do solo. São Paulo, Ícone, 1990. 335p.

BEUTLER, J.F. Erosão hídrica num Latossolo Vermelho aluminoférrico submetido a diferentes sistemas de preparo e cultivo do solo. Lages, Universidade do Estado de Santa Catarina, 2000. 105p. (Tese de Mestrado).

BEUTLER, J.F.; BERTOL, I.; VEIGA, M. & WILDNER, L.P. Perdas de solo e água num Latossolo Vermelho aluminoférrico submetido a diferentes sistemas de preparo e culturas sob chuva natural. R. Bras. Ci. Solo. 27, 509-517, 2003.

CABEDA, M.S.V. Computation of storm EI values. West Lafayette, Purdue University, 1976. 6p. (Não publicado).

CABRAL, J.B.P.; BECEGATO, V.A.; SCOPEL, I. & LOPES, R.M. Estudo da erosividade e espacialização dos dados com técnicas de geoprocessamento na carta topográfica de Morrinhos Goiás/Brasil para o período de 1971a 2000. Rev. Int. Ci. Tec. Inf. Geo. 5:1-18, 2005.

CARDOSO, D.P.; SILVA, M. L.N.S.; CURI, N.; SAFADI, T.; FONSECA, S.; FERREIRA, M.; MARTINS, S. & MARQUES, J.J. Erosão hídrica avaliada pela alteração na superfície do solo em sistemas florestais. Scientia Forestalis, 66:25-37, 2004.

CASSOL, E.A.; CANTALICE, J.R.B; REICHERT, J.M. & MONDARDO, A. Escoamento superficial e desagregação do solo em entressulcos em solo franco-argilo-arenoso com resíduos vegetais. Pesq. Agropec. Bras. 39:685-690, 2004.

CASSOL, E.A.; ELTZ, F.L.F.; MARTINS, D.; LEMOS, A.M.; LIMA, V.S. & BUENO, A.C. Erosividade, padrões hidrológicos, período de retorno e probabilidade de ocorrência das chuvas em São Borja, RS. R. Bras. Ci. Solo. 32, 1239-1251, 2008.

CASSOL, E.A.; LEVIEN, R.; DE JONG VAN LIER, Q. & BADELUCCI, M.P. Infiltração de água e perdas de água e solo por erosão influenciadas por diferentes métodos de melhoramento da pastagem nativa gaúcha. R. Bras. Ci. Solo. 23:923-931, 1999.

COGO, C.M.; ELTZ, F.L.F. & CASSOL, E.A. Erosividade das chuvas em Santa Maria, RS, determinada pelo índice EI₃₀. Rev. Bras. Agrometeorologia, 14:1-11, 2006.

COGO, N.P. Processos erosivos e ações mitigadoras: o grande desafio do cientista de solo na proteção do planeta. In: XVII Reunião Brasileira de Manejo e Conservação do Solo e da Água. Rio de Janeiro, RJ: Embrapa Solo e Agrobiologia, 2008.

COGO, N.P. Uma contribuição à metodologia de estudo das perdas por erosão em condições de chuva natural: I – Sugestões gerais, medição de volume, amostragem e quantificação de solo e água da enxurrada. In: ENCONTRO NACIONAL DE

PESQUISA SOBRE CONSERVAÇÃO DO SOLO, 2., Passo Fundo, 1978. Anais. Passo Fundo, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 1978. p. 75-97.

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

COGO, N.P.; FOSTER, G.R. & MOLDENHAUER, W.C. Flow rates-soil erosion relationship as affected by wheat residue cover: an attempt to define slope-length limits for conservation tillage. R. Bras. Ci. Solo. 20:475-483, 1996.

COGO, N.P.; LEVIEN, R. & SCHWARZ, R.A. Perdas de solo e água por erosão hídrica influenciadas por métodos de preparo, classes de declive e níveis de fertilidade do solo. R. Bras. Ci. Solo. 27:743-753, 2003.

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.

DALLA ROSA, A. Práticas mecânicas e culturais na recuperação física de solos degradados pelo cultivo no Solo Santo Ângelo (Latosolo Roxo Distrófico). Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1981. 138 p. (Dissertação de Mestrado).

DEBARBA, L. Sistemas de produção de milho adaptados à conservação do solo. Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, 1993. 150 p. (Dissertação de Mestrado).

DEBARBA, L. & AMADO, T.J.C. Desenvolvimento de sistemas de produção de milho no sul do Brasil com características de sustentabilidade. R. Bras. Ci. Solo. 21:473-480, 1997.

DECHEN, S.C.F.; LOMBARDI NETO, F. & CASTRO, O.M. Gramíneas e leguminosas e seus restos culturais no controle da erosão em Latossolo Roxo. R. Bras. Ci. Solo, 5:133-137, 1981.

DEDECEK, R.A.; RESK, D.V.S. & FREITAS JÚNIOR, E. Perdas de solo, água e nutrientes por erosão em Latossolo Vermelho-escuro dos cerrados em diferentes cultivos sob chuva natural. R. Bras. Ci. Solo, 10:265-272, 1986.

DEMARIA, I. C. & LOMBARDI NETO, F. Razão de perdas de solo e fator C para sistemas de manejo na cultura do milho. R. Bras. Ci. Solo. 21:263-270, 1997.

DENARDIN, J.E.; KOCHHANN, R.A. & RIGHES, A.A. Mulching Vertical: técnica de manejo de enxurradas em Sistema Plantio Direto. Revista Plantio Direto, edição 85, Janeiro/Feveireiro de 2005. Aldeia Norte, Passo Fundo – RS.(b)

DENARDIN, J.E.; KOCHHANN, R.A.; FLORES, C.A.; FERREIRA, T.N.; CASSOL, E.A.; MONDARDO, A. & SCHWARZ, R.A. Manejo da Enxurrada em Sistema Plantio Direto. Porto Alegre: Fórum Estadual de Solo e Água, 2005. 88p.(a)

DULEY, F.L. Surface factors affecting the rate of intake of water by soils. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 4:60-64, 1939.

EDWARDS, W. M. & LARSON, W. E. Infiltration of water into soils as influenced by surface seal development. Trans. Amer. Soc. Agr. Eng. 12:463-470, 1969.

ELTZ, F.L.F. Perdas por erosão sob precipitação natural em diferentes manejos e coberturas vegetais. Porto Alegre: UFRGS, 1977, 97 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1977.

ELTZ, F.L.F.; CASSOL, E.A.; GUERRA, M. & ABRÃO, P.U.R. Perdas de solo e água por erosão em diferentes sistemas de manejo e coberturas vegetais em solo São Pedro (Podzólico Vermelho-amarelo) sob chuva natural. R. Bras. Ci. Solo. 8:245-249, 1984.

ELTZ, F.L.F. & NORTON, 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.; REICHERT, J.M. & CASSOL, E.A. Período de retorno de chuvas de Santa Maria, RS. R. Bras. Ci. Solo. 16:265-269, 1992.

FLANAGAN, D.C.; FOSTER, G.R. & MOLDENHAUER, W.C. Storm pattern effect on infiltration, runoff and erosion. Trans. Am. Soc. Agron. Eng., 31:414-420, 1988.

FOSTER, G.R.; McCOOL, D.K.; RENARD, K.G. & MOLDENHAUER, W.C. Conversion of the universal soil loss equation to SI metric units. J. Soil Water Conserv.,36:355-359, 1981.

FRYE, W.W.; EBELHAR, S.A.; MURDOCK, L.W. & BEVINS, R.L. Soil erosion effects on properties and productivity of two Kentucky soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 46:1051-1055, 1982.

HERNANI, L.C.; SALTON, J.C.; FABRÍCIO, A.C.; DEDECEK, R. & ALVES, JR.M. Perdas por erosão e rendimentos de soja e de trigo em diferentes sistemas de preparo de um Latossolo Roxo de Dourados (MS). *R. Bras. Ci. Solo.* 21:667-676, 1997.

LANZANOVA, M.E. Atributos físicos do solo em sistemas de culturas sob plantio direto na integração lavoura-pecuária. Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, 2005. 132p. (Dissertação de Mestrado).

LANZANOVA, M.E.; NICOLOSO, R.S.; LOVATO, T.; ELTZ, F.L.F; AMADO, T.J.C. & REINERT, D.J. Atributos físicos do solo em sistemas de integração lavoura-pecuária sob plantio direto. *R. Bras. Ci. Solo.*,31:1131-1140, 2007.

LINDSTROM, W.J.; SCHUMACHER, T.E.; COGO, N.P. & BLECHA, M.L. Tillage effects on water runoff and soil erosion after sod. *J. Soil Water Cons.*, 53:59-63, 1998.

LOMBARDI NETO, F. & MOLDENHAUER, W.C. Erosividade da chuva: sua distribuição e relação com as perdas de solo em Campinas (SP). *Bragantia*, 51:189-196, 1992.

LUCIANO, R.V.; BERTOL, I.; BARBOSA, F.T.; VAZQUEZ, E.V. & FABIAN, E.L. Perdas de água e solo por erosão hídrica em duas direções de semeadura de aveia preta e ervilhaca. *R. Bras. Ci. Solo.* 33:669-676, 2009.

MACHADO, R.L.; CARVALHO, D.F.; COSTA, J.R.; OLIVEIRA NETO, D.H. & PINTO, M.F. Análise da erosividade das chuvas associada aos padrões de precipitação pluvial na região de Ribeirão das Lages (RJ). *R. Bras. Ci. Solo.* 32:2113-2123, 2008.

MANNERING, J.V. & MEYER, L.D. The effects of various rates of surface mulch on infiltration and erosion. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 27:84-86, 1962.

MARQUES, J.J.G.S.M.; ALVARENGA, R.C.; CURI, N.; SANTANA, D.P. & SILVA, M.L.N. Índices de erosividade da chuva, perdas de solo e fator erodibilidade para dois solos da região dos cerrados - primeira aproximação. *R. Bras. Ci. Solo*, 21:427-434, 1997.

MEHL, H.U.; ELTZ, F.L.F.; REICHERT, J.M. & DIDONÉ, I.A. Caracterização de padrões de chuvas ocorrentes em Santa Maria (RS). R. Bras. Ci. Solo, 25:475-483, 2001.

MELLO, E.L. Erosão hídrica em diferentes sistemas de manejo do solo sob chuva simulada. Lages, Universidade do Estado de Santa Catarina, 2002. 88p. (Dissertação 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 submetida à chuva simulada. R. Bras. Ci. Solo. 27:901-909, 2003.

MORAIS, L.F.B. & COGO, N.P. Comprimentos críticos de rampa para diferentes manejos de resíduos culturais em plantio direto em um Argissolo Vermelho da Depressão Central – RS. R. Bras. Ci. Solo. 51:1041-1051, 2001.

NICOLOSO, R.S; AMADO, T.J.C.; LOVATO, T.; SCHNEIDER, S.; LANZANOVA, M. E.; ROSSATO, R. R.; BRAGAGNOLO, J.; GIRARDELLO, V.; GIRARDELLO, R. Nabo forrageiro: alternativa de ciclagem de nutrientes e escarificação biológica do solo. Revista Plantio Direto, v. 104, p. 28-38, 2008.(a).

NICOLOSO, R. S.; AMADO, T.J.C.; SCHNEIDER, S.; LANZANOVA, M.E.; GIRARDELLO, V. & BRAGAGNOLO, J. Eficiência da escarificação mecânica e biológica na melhoria dos atributos físicos de um Latossolo muito argiloso e no incremento do rendimento da soja. R. Bras. Ci. Solo. 32:1723-1734, 2008.(b).

PROCHNOW, D.; DECHEN, S.C.F.; DEMARIA, I.C.; CASTRO, O.M. & VIEIRA, S.R. Razão de perdas de terra e fator C da cultura do cafeeiro em cinco espaçamentos, em Pindorama (SP). R. Bras. Ci. Solo. 29:91-98, 2005.

RIO GRANDE DO SUL, SECRETARIA DE AGRICULTURA. Manual de Conservação de Solo e Água: uso adequado e preservação dos recursos naturais renováveis. 3. ed. Atualizada. Porto Alegre, 1985, 287 p.

SAS INSTITUTE. Statistical Analysis System Institute – SAS/STAT Procedure guide for personal computers. Version 5, SAS Inst. Cary, NC. 1991.

SEGANFREDO, M.L. Sistemas de culturas adaptados à produtividade e a conservação do solo. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Santa Maria, 1995. 95 p.

SEGANFREDO, M.L.; ELTZ, F.L.F. & BRUM, A.C.R. Perdas de solo, água e nutrientes por erosão em sistemas de culturas em plantio direto. R. Bras. Ci. Solo, 21: 287-291, 1997.

SCHICK, J. Erosão hídrica em Cambissolo Húmico álico submetido a diferentes sistemas de preparo e cultivo do solo. Lages, Universidade do Estado de Santa Catarina, 1999. 114p. (Tese de Mestrado).

SCHICK, J.; BERTOL, I.; BALBINOT JR, A.A. & BATISTELA, O. Erosão hídrica em Cambissolo Húmico alumínico submetido a diferentes sistemas de preparo e cultivo do solo: II. Perdas de nutrientes e carbono orgânico. R. Bras. Ci. Solo, 24: 437-447, 2000a.

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, 2000b.

SILVA, J.C.; HELDWEIN, A.B.; MARTINS, F.B.; TRENTIN, G. & GRIMM, E.L. Análise de distribuição de chuva para Santa Maria, RS. Rev. Bras. Eng. Agric. Amb., 11:67-72, 2007.

SPAROVEK, G.; WEILL, M.M.; RANIERI, S.B.L.; SCHNUG, E. & SILVA, E.F. The life-time concept as a tool for erosion tolerance definition. Sci. Agric. 54:130-135, 1997.

VEIGA, M. & WILDNER, L.P. Manual para la instalación y la conducción de experimento de pérdida de suelos. Santiago, FAO, 1993. (Documento de Campo, 1).

VOLK, L.B.S.; COGO, N.P. & STRECK, E.V. Erosão hídrica influenciada por condições físicas de superfície e subsuperfície do solo resultantes do seu manejo, na ausência de cobertura vegetal. R. Bras. Ci. Solo, 28: 763-774, 2004.

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

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

WISCHMEIER, W.H. & SMITH, D.D. Rainfall energy and its relationship to soil loss, Transactions of the American Geophysical Union, Washington, 39:285-291, 1958.

WISCHMEIER, W.H: A rainfall erosion index for a universal soil loss equation, Soil Science Society of America Journal, 23:246-249, 1959.

WÜNSCHE, A. & DENARDIN, J.E. Conservação e manejo dos solos. In: Planalto Riograndense, considerações gerais. 1 . Passo Fundo, EMBRAPA. CNPT, 1980. 17 p. (EMBRAPA, CNPT, Circular técnica, 2).

CONSIDERAÇÕES FINAIS E SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS

Experimentos de longa duração são ferramentas valiosas para a obtenção de dados científicos consistentes. Quanto maior o período de tempo de utilização dos experimentos, maior a confiabilidade dos resultados obtidos. Assim sendo, experimentos com essa finalidade (comportamento da variável ao longo do tempo) devem ser preconizados, mesmo que estes demandem custo, mão de obra, e persistência por parte dos envolvidos. Experimentos de longa duração que estão em andamento devem, na medida do possível, continuar sendo explorados, sempre levando em consideração as tendências atuais e os novos conhecimentos gerados pela ciência.

O efeito positivo do sistema plantio direto na redução das perdas de solo e água por erosão hídrica, em comparação com outros sistemas de manejo do solo, especialmente os que envolvem revolvimento da camada superficial para fins de semeadura, é um fato comprovado, independente do tipo de solo, clima local, tamanho da área e tecnologia aplicada. Obviamente que esse resultado é obtido quando se utiliza o sistema plantio direto de maneira correta, respeitando suas premissas básicas.

Dessa maneira, para o experimento de longa duração que trata o presente trabalho, sugere-se que o mesmo continue sendo explorado buscando novos conhecimentos, com novos sistemas de culturas, e novas variáveis a serem pesquisadas. A estrutura das parcelas experimentais, por exemplo, fornece subsídios para a coleta da água de enxurradas, a qual é no sistema plantio direto rica em elementos químicos, que são potenciais contaminantes ambientais, e que podem ser quantificados em cada sistema de culturas ou manejo de solo testado.

Também é possível, aproveitando a estrutura existente, a realização de um experimento buscando recuperar o efeito deletério da erosão hídrica ocorrida durante 16 anos no solo mantido permanentemente descoberto, onde se avaliariam diferentes atributos de solo em resposta a diferentes sistemas de culturas e níveis de tecnologia aplicados, com a finalidade de recuperar a qualidade do solo.

Outra possibilidade concreta de continuar a exploração do experimento é o fato do solo ser visto como, ao mesmo tempo, um dreno ou uma fonte de carbono

para a atmosfera. Em tempos em que se discute o potencial de sistemas de manejo de solo e culturas em mitigar as emissões de gases causadores de efeito estufa para a atmosfera, surge a possibilidade de utilizar um experimento de longa duração, com histórico conhecido, para gerar informações a respeito desse tema. O histórico anterior da área, recém citado, é de extrema importância quando se busca análises temporais, e o presente experimento fornece informações preciosas em relação a isto.

O Estado do Rio Grande do Sul, pela importância que apresentou no passado para a agricultura nacional, e continua a apresentar no presente, e pela qualidade da assistência técnica e recursos científicos que dispõe, tem todas as condições de ser um exportador de informações e tecnologias, sendo que estas muitas vezes podem ser geradas e comprovadas em experimentos de longa duração como o do presente trabalho. Neste sentido, a Universidade Federal de Santa Maria, apontada recentemente como uma das universidades de melhor qualidade do RS e do país, assume o desafio de continuar a busca pela excelência e manter o nível de qualidade alcançado. Sabendo-se que potencial humano, tecnológico e científico a instituição dispõe, o futuro desta literalmente “universidade” é altamente promissor.

Por fim, considerando como objetivo principal da agricultura a produção de alimentos em quantidade e qualidade cada vez mais competitivas e lucrativas, sem deixar de respeitar as limitações ambientais e do próprio solo em questão, espera-se que, através dos resultados obtidos no presente trabalho, benefícios futuros sejam proporcionados, concluindo assim o seu verdadeiro papel como Tese de Doutorado.

ANEXOS

Anexo A. Perdas de solo, em t ha⁻¹, nos períodos abril-setembro e outubro-março, entre os anos 1992 e 2008

1992							
Tratamentos	abril	maio	junho	julho	agosto	setembro	Total
MFP	0,065	0,059	0,159	0,089	0,089	0,130	0,590
SDES	1,884	0,251	3,140	0,377	1,884	5,024	12,560
POU	0,220	0,042	0,186	0,042	0,211	0,144	0,845
AZEV	0,159	0,030	0,016	0,011	0,008	0,046	0,270
MUC	0,077	0,035	0,130	0,065	0,118	0,165	0,590
CNA	0,011	0,008	0,010	0,000	0,020	0,010	0,060
NFO	0,221	0,032	0,101	0,025	0,132	0,120	0,630

MFP: Milho + Feijão de porco/Soja; SDES: Solo Descoberto; POU: Milho/Pousio/Soja; AZEV: Milho/Azevém + Ervilhaca/Soja; MUC: Milho + Mucuna/Soja; CNA: Campo Nativo; NFO: Milho/Nabo Forrageiro/Soja.

1992-1993							
Tratamentos	outubro	novembro	dezembro	janeiro	fevereiro	março	Total
MFP	0,137	0,032	0,042	0,654	0,127	0,063	1,055
SDES	4,776	3,184	9,552	106,667	11,144	23,881	159,205
POU	1,913	0,675	0,169	2,363	0,281	0,225	5,625
AZEV	0,046	0,005	0,028	0,105	0,031	0,041	0,255
MUC	0,161	0,074	0,074	0,692	0,161	0,074	1,235
CNA	0,006	0,000	0,005	0,033	0,000	0,007	0,050
NFO	0,198	0,062	0,074	0,692	0,136	0,074	1,235

1993							
Tratamentos	abril	maio	junho	julho	agosto	setembro	Total
MFP	0,037	0,055	0,057	0,020	0,000	0,051	0,357
SDES	12,037	36,112	23,149	7,408	0,000	13,889	92,595
POU	0,052	0,963	0,413	0,189	0,000	0,103	1,720
AZEV	0,017	0,168	0,099	0,030	0,000	0,017	0,330
MUC	0,038	0,130	0,139	0,029	0,000	0,084	0,420
CNA	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
NFO	0,011	0,194	0,118	0,049	0,000	0,008	0,380

1993 - 1994							
Tratamentos	outubro	novembro	dezembro	janeiro	fevereiro	março	Total
MFP	0,137	0,308	0,296	0,080	0,285	0,034	1,140
SDES	15,306	36,990	39,541	2,551	26,786	6,378	127,550
POU	2,927	2,689	1,187	0,079	0,712	0,316	7,910
AZEV	0,074	0,105	0,068	0,047	0,173	0,058	0,525
MUC	0,140	0,250	0,220	0,100	0,260	0,030	1,000
CNA	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
NFO	0,115	0,172	0,074	0,074	0,303	0,082	0,820

Continuação anexo A

1994							
Tratamentos	abril	maio	junho	julho	agosto	setembro	Total
MFP	0,014	0,014	0,028	0,013	0,035	0,006	0,620
SDES	9,010	30,033	25,028	24,026	4,004	8,009	100,110
POU	0,144	0,219	0,138	0,058	0,012	0,006	0,575
AZEV	0,091	0,235	0,091	0,048	0,010	0,005	0,480
MUC	0,021	0,021	0,010	0,043	0,012	0,009	0,115
CNA	0,020	0,026	0,026	0,039	0,016	0,004	0,130
NFO	0,110	0,189	0,069	0,074	0,014	0,005	0,460

1994 - 1995							
Tratamentos	outubro	novembro	dezembro	janeiro	fevereiro	março	Total
MFP	0,510	0,032	0,032	0,013	0,032	0,026	0,645
SDES	50,206	6,584	9,054	1,646	2,469	12,346	82,305
POU	0,422	0,027	0,007	0,034	0,020	0,161	0,670
AZEV	0,022	0,004	0,003	0,001	0,002	0,014	0,045
MUC	0,394	0,055	0,055	0,037	0,025	0,049	0,615
CNA	0,007	0,001	0,001	0,000	0,000	0,002	0,010
NFO	0,347	0,025	0,013	0,019	0,019	0,208	0,630

1995							
Tratamentos	abril	maio	junho	julho	agosto	setembro	Total
MFP	0,016	0,009	0,005	0,004	0,016	0,026	0,076
SDES	12,055	0,210	5,565	0,615	2,941	9,488	30,874
SDES	6,605	0,369	2,850	0,388	2,601	8,526	21,338
POU	0,043	0,003	0,004	0,002	0,004	0,011	0,068
AZEV	0,013	0,005	0,014	0,002	0,003	0,006	0,043
POU	0,020	0,001	0,006	0,001	0,003	0,032	0,062
MUC	0,004	0,001	0,001	0,108	0,006	0,017	0,136
MFP	0,003	0,001	0,011	0,002	0,010	0,051	0,078
MUC	0,015	0,002	0,002	0,000	0,010	0,069	0,099
NFO	0,024	0,003	0,015	0,001	0,004	0,004	0,051
AZEV	0,013	0,013	0,039	0,005	0,006	0,004	0,079
NFO	0,053	0,014	0,014	0,002	0,004	0,002	0,088
CNA	0,007	0,000	0,000	0,000	0,000	0,012	0,019

Continuação anexo A

1995-1996							
Tratamento	outubro	novembro	dezembro	janeiro	fevereiro	março	Total
MFP	0,004	0,000	0,000	1,044	0,597	0,090	1,736
SDES	1,532	0,000	0,000	42,157	22,048	4,245	69,982
SDES	1,415	0,000	0,000	43,790	21,709	3,300	70,213
POU	0,001	0,000	0,000	0,051	0,032	0,007	0,090
AZEV	0,001	0,000	0,000	0,089	0,053	0,005	0,149
POU	0,000	0,000	0,000	0,067	0,031	0,004	0,102
MUC	0,027	0,000	0,000	0,303	0,163	0,014	0,507
MFP	0,013	0,000	0,000	0,845	0,548	0,030	1,436
MUC	0,004	0,000	0,000	0,556	0,272	0,027	0,859
NFO	0,001	0,000	0,000	0,023	0,013	0,005	0,042
AZEV	0,002	0,000	0,000	0,120	0,054	0,003	0,179
NFO	0,000	0,000	0,000	0,031	0,006	0,000	0,037
CNA	0,001	0,000	0,000	0,000	0,024	0,000	0,026

1996							
Tratamento	abril	maio	junho	julho	agosto	setembro	Total
MFP	0,100	0,000	0,026	0,000	0,032	0,005	0,162
SDES	8,782	0,000	0,129	0,193	2,980	0,086	12,171
SDES	6,427	0,000	0,176	0,062	1,603	0,064	8,332
POU	0,006	0,000	0,005	0,000	0,003	0,000	0,015
AZEV	0,004	0,000	0,016	0,000	0,014	0,008	0,041
POU	0,002	0,000	0,000	0,000	0,005	0,003	0,011
MUC	0,056	0,000	0,016	0,000	0,012	0,004	0,087
MFP	0,055	0,000	0,036	0,000	0,037	0,124	0,252
MUC	0,017	0,000	0,007	0,000	0,015	0,058	0,096
NFO	0,006	0,000	0,004	0,000	0,012	0,000	0,023
AZEV	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002
NFO	0,005	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,005
CNA	0,001	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000	0,003

1996-1997							
Tratamento	outubro	novembro	dezembro	janeiro	fevereiro	março	Total
MFP	0,004	0,000	0,133	0,008	0,015	0,000	0,159
SDES	0,073	0,000	29,153	0,951	9,261	0,000	39,437
SDES	0,010	0,000	31,410	1,455	9,650	0,000	42,526
POU	0,000	0,000	0,041	0,000	0,100	0,000	0,141
AZEV	0,002	0,000	0,019	0,000	0,014	0,000	0,035
POU	0,000	0,000	0,048	0,000	0,005	0,000	0,053
MUC	0,000	0,000	0,029	0,000	0,027	0,000	0,057
MFP	0,002	0,000	0,039	0,000	0,019	0,000	0,060
MUC	0,007	0,000	0,039	0,001	0,017	0,000	0,063
NFO	0,001	0,000	0,018	0,000	0,007	0,000	0,027
AZEV	0,000	0,000	0,008	0,000	0,000	0,000	0,008
NFO	0,000	0,000	0,003	0,000	0,000	0,000	0,003
CNA	0,001	0,000	0,005	0,001	0,001	0,000	0,007

Continuação anexo A

1997							
Tratamento	abril	maio	junho	julho	agosto	setembro	Total
MFP	0,000	0,012	0,014	0,003	0,066	0,000	0,095
SDES	0,105	0,231	4,025	0,243	19,813	1,123	25,539
SDES	0,156	0,078	3,282	0,111	25,109	1,242	29,977
POU	0,006	0,006	0,003	0,000	0,042	0,000	0,056
AZEV	0,000	0,009	0,022	0,000	0,024	0,002	0,057
POU	0,000	0,008	0,015	0,004	0,036	0,000	0,064
MUC	0,000	0,006	0,050	0,000	0,029	0,002	0,087
MFP	0,014	0,006	0,015	0,005	0,045	0,000	0,085
MUC	0,012	0,006	0,035	0,013	0,049	0,000	0,115
NFO	0,004	0,007	0,021	0,000	0,021	0,000	0,053
AZEV	0,000	0,000	0,018	0,000	0,018	0,000	0,035
NFO	0,000	0,004	0,008	0,000	0,013	0,000	0,025
CNA	0,000	0,002	0,002	0,001	0,070	0,000	0,074

1997-1998							
Tratamento	outubro	novembro	dezembro	janeiro	fevereiro	março	Total
MFP	0,224	0,063	0,058	0,160	0,083	0,003	0,590
SDES	50,144	32,563	32,753	27,050	11,360	10,192	164,062
SDES	41,668	32,700	30,985	22,098	11,032	10,522	149,005
POU	0,104	0,029	0,138	0,075	0,060	0,002	0,408
AZEV	0,056	0,004	0,010	0,010	0,012	0,005	0,097
POU	0,168	0,004	0,027	0,041	0,101	0,006	0,348
MUC	0,207	0,032	0,070	0,042	0,026	0,001	0,378
MFP	0,272	0,116	0,359	0,033	0,068	0,006	0,852
MUC	0,307	0,093	0,078	0,089	0,055	0,002	0,624
NFO	0,014	0,005	0,161	0,049	0,026	0,001	0,257
AZEV	0,006	0,002	0,074	0,030	0,012	0,002	0,126
NFO	0,005	0,001	0,050	0,015	0,002	0,000	0,073
CNA	0,014	0,004	0,012	0,010	0,007	0,001	0,049

1998							
Tratamento	abril	maio	junho	julho	agosto	setembro	Total
MFP	0,127	0,000	0,000	0,003	0,008	0,114	0,25
SDES	45,526	0,888	0,024	7,090	2,588	22,673	78,79
SDES	65,191	0,793	0,038	8,123	2,036	28,108	104,29
POU	0,103	0,004	0,000	0,015	0,024	0,216	0,36
AZEV	0,034	0,002	0,001	0,007	0,018	0,044	0,11
POU	0,172	0,000	0,000	0,004	0,005	0,121	0,30
MUC	0,009	0,000	0,000	0,002	0,005	0,030	0,05
MFP	0,027	0,001	0,001	0,001	0,007	0,041	0,08
MUC	0,006	0,000	0,000	0,002	0,038	0,031	0,08
NFO	0,035	0,000	0,000	0,001	0,008	0,429	0,47
AZEV	0,028	0,001	0,000	0,002	0,008	0,002	0,04
NFO	0,007	0,000	0,001	0,000	0,001	0,003	0,01
CNA	0,054	0,001	0,000	0,000	0,001	0,008	0,06

Continuação anexo A

1998-1999							
Tratamento	outubro	novembro	dezembro	janeiro	fevereiro	março	Total
MFP	0,000	0,031	0,003	0,047	0,003	0,003	0,087
SDES	3,129	2,967	0,772	7,118	12,150	5,832	31,969
SDES	1,966	2,021	0,968	9,233	11,858	10,390	36,436
POU	0,003	0,010	0,002	0,054	0,002	0,003	0,075
AZEV	0,002	0,004	0,000	0,019	0,001	0,004	0,031
POU	0,016	0,005	0,000	0,017	0,001	0,002	0,042
MUC	0,000	0,009	0,001	0,012	0,002	0,004	0,028
MFP	0,001	0,000	0,000	0,037	0,001	0,003	0,041
MUC	0,003	0,000	0,000	0,020	0,001	0,002	0,026
NFO	0,000	0,005	0,000	0,011	0,000	0,001	0,017
AZEV	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
NFO	0,000	0,000	0,000	0,023	0,000	0,000	0,023
CNA	0,000	0,000	0,000	0,003	0,000	0,000	0,003

1999							
Tratamento	abril	maio	junho	julho	agosto	setembro	Total
MFP	0,002	0,002	0,005	0,000	0,001	0,001	0,01
SDES	3,123	5,735	9,711	0,144	0,091	6,564	25,37
SDES	3,619	5,154	10,045	0,065	0,239	9,495	28,62
POU	0,000	0,000	0,003	0,001	0,000	0,003	0,01
AZEV	0,001	0,001	0,002	0,000	0,000	0,000	0,01
POU	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,00
MUC	0,006	0,001	0,002	0,001	0,000	0,000	0,01
MFP	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00
MUC	0,001	0,001	0,002	0,001	0,000	0,001	0,01
NFO	0,000	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	0,00
AZEV	0,000	0,001	0,000	0,001	0,000	0,000	0,00
NFO	0,003	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	0,00
CNA	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,00

1999-2000							
Tratamento	outubro	novembro	dezembro	janeiro	fevereiro	março	Total
MFP	0,036	0,000	0,031	0,134	0,009	0,008	0,218
SDES	19,063	0,598	6,674	41,973	12,321	12,262	92,890
SDES	19,167	0,527	7,390	37,124	11,972	6,159	82,339
POU	0,081	0,000	0,017	0,035	0,000	0,033	0,165
AZEV	0,123	0,000	0,042	0,008	0,011	0,034	0,220
POU	0,073	0,000	0,029	0,015	0,000	0,000	0,117
MUC	0,019	0,000	0,042	0,020	0,011	0,032	0,124
MFP	0,038	0,000	0,013	0,010	0,000	0,012	0,072
MUC	0,070	0,000	0,012	0,018	0,000	0,015	0,115
NFO	0,033	0,000	0,008	0,003	0,000	0,019	0,063
AZEV	0,000	0,000	0,001	0,002	0,000	0,011	0,014
NFO	0,013	0,000	0,000	0,001	0,000	0,019	0,033
CNA	0,001	0,000	0,000	0,011	0,000	0,011	0,022

Continuação anexo A

2000							
Tratamento	abril	maio	junho	julho	agosto	setembro	Total
MFP	0,000	0,027	0,015	0,005	0,004	0,022	0,072
SDES	0,002	21,380	16,578	13,798	15,402	33,329	100,488
SDES	0,002	24,871	19,505	16,192	16,341	36,035	112,946
POU	0,000	0,035	0,003	0,000	0,002	0,001	0,042
AZEV	0,000	0,063	0,059	0,002	0,003	0,001	0,127
POU	0,000	0,145	0,043	0,000	0,000	0,000	0,189
MUC	0,000	0,007	0,015	0,000	0,000	0,003	0,027
MFP	0,000	0,004	0,014	0,001	0,001	0,001	0,020
MUC	0,000	0,003	0,003	0,001	0,001	0,003	0,011
NFO	0,000	0,004	0,002	0,001	0,001	0,002	0,010
AZEV	0,000	0,007	0,004	0,001	0,001	0,004	0,018
NFO	0,000	0,002	0,018	0,000	0,002	0,001	0,023
CNA	0,000	0,015	0,024	0,005	0,005	0,004	0,052

2000-2001							
Tratamento	outubro	novembro	dezembro	janeiro	fevereiro	março	Total
MFP	0,003	0,003	0,037	0,011	0,001	0,001	0,055
SDES	13,088	12,266	35,476	14,622	8,281	20,014	103,746
SDES	16,032	12,525	28,051	14,224	7,287	18,662	96,781
POU	0,000	0,002	0,012	0,002	0,002	0,001	0,018
AZEV	0,001	0,002	0,007	0,002	0,000	0,000	0,011
POU	0,001	0,001	0,029	0,001	0,000	0,001	0,034
MUC	0,000	0,002	0,002	0,002	0,000	0,007	0,014
MFP	0,001	0,003	0,005	0,001	0,001	0,000	0,011
MUC	0,000	0,001	0,008	0,002	0,002	0,008	0,020
NFO	0,000	0,003	0,009	0,004	0,000	0,001	0,017
AZEV	0,001	0,000	0,007	0,003	0,000	0,000	0,011
NFO	0,002	0,001	0,009	0,001	0,000	0,000	0,013
CNA	0,001	0,002	0,010	0,009	0,000	0,000	0,022

2001							
Tratamento	abril	maio	junho	julho	agosto	setembro	Total
MFP	0,000	0,000	0,001	0,037	0,000	0,004	0,042
SDES	12,305	12,514	19,406	33,278	2,179	17,486	97,168
SDES	11,912	14,378	14,519	40,746	2,734	19,354	103,643
POU	0,001	0,001	0,006	0,061	0,000	0,002	0,071
AZEV	0,000	0,000	0,002	0,024	0,000	0,002	0,028
POU	0,000	0,001	0,002	0,015	0,000	0,001	0,018
MUC	0,001	0,000	0,000	0,029	0,000	0,001	0,030
MFP	0,000	0,000	0,001	0,008	0,000	0,001	0,010
MUC	0,000	0,000	0,005	0,012	0,000	0,000	0,017
NFO	0,000	0,001	0,001	0,032	0,000	0,001	0,035
AZEV	0,000	0,000	0,001	0,024	0,000	0,000	0,026
NFO	0,000	0,000	0,001	0,031	0,000	0,000	0,033
CNA	0,001	0,001	0,002	0,015	0,001	0,002	0,022

Continuação anexo A

2001-2002							
Tratamento	outubro	novembro	dezembro	janeiro	fevereiro	março	Total
MFP	0,000	0,002	0,000	0,006	0,005	0,001	0,015
SDES	20,901	5,929	3,055	19,278	10,984	11,469	71,615
SDES	22,089	5,808	4,758	17,973	12,455	13,556	76,639
POU	0,004	0,002	0,000	0,001	0,019	0,001	0,027
AZEV	0,002	0,001	0,000	0,002	0,004	0,003	0,012
POU	0,002	0,001	0,000	0,043	0,003	0,001	0,049
MUC	0,001	0,000	0,000	0,023	0,009	0,008	0,041
MFP	0,001	0,000	0,000	0,001	0,005	0,003	0,011
MUC	0,001	0,001	0,000	0,001	0,031	0,087	0,121
NFO	0,001	0,000	0,000	0,001	0,003	0,003	0,009
AZEV	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001	0,000	0,003
NFO	0,001	0,000	0,000	0,001	0,002	0,000	0,004
CNA	0,002	0,001	0,002	0,002	0,001	0,001	0,009

2002							
Tratamento	abril	maio	junho	julho	agosto	setembro	Total
MFP	0,002	0,002	0,002	0,001	0,000	0,089	0,096
SDES	7,039	11,470	16,246	6,561	21,747	40,641	103,704
SDES	7,511	11,496	18,646	6,722	24,709	43,492	112,577
POU	0,003	0,005	0,019	0,003	0,015	0,059	0,104
AZEV	0,001	0,016	0,010	0,006	0,024	0,098	0,156
POU	0,111	0,006	0,024	0,005	0,026	0,091	0,262
MUC	0,004	0,013	0,003	0,001	0,006	0,014	0,041
MFP	0,001	0,001	0,003	0,002	0,003	0,005	0,014
MUC	0,002	0,005	0,004	0,002	0,008	0,024	0,045
NFO	0,002	0,004	0,012	0,005	0,011	0,018	0,051
AZEV	0,003	0,006	0,008	0,002	0,150	0,002	0,170
NFO	0,001	0,003	0,007	0,008	0,009	0,021	0,048
CNA	0,002	0,004	0,004	0,003	0,005	0,044	0,061

2002-2003							
Tratamento	outubro	novembro	dezembro	janeiro	fevereiro	março	Total
MFP	0,004	0,001	0,000	0,084	0,007	0,001	0,096
SDES	21,153	11,109	15,526	34,523	32,146	17,792	132,249
SDES	22,357	12,698	18,044	37,235	42,321	5,408	138,063
POU	0,015	0,011	0,010	0,041	0,340	0,003	0,420
AZEV	0,010	0,009	0,013	0,092	0,043	0,003	0,170
POU	0,019	0,014	0,005	0,086	0,050	0,004	0,178
MUC	0,014	0,002	0,003	0,015	0,008	0,000	0,041
MFP	0,003	0,002	0,001	0,007	0,004	0,001	0,018
MUC	0,005	0,004	0,004	0,022	0,011	0,003	0,048
NFO	0,010	0,010	0,005	0,018	0,015	0,003	0,061
AZEV	0,010	0,004	0,147	0,004	0,005	0,000	0,168
NFO	0,007	0,009	0,006	0,021	0,007	0,001	0,051
CNA	0,006	0,004	0,002	0,003	0,085	0,004	0,104

Continuação anexo A

2003							
Tratamento	abril	maio	junho	julho	agosto	setembro	Total
MFP	0,000	0,002	0,000	0,006	0,000	0,000	0,008
SDES	1,617	1,486	4,724	9,588	2,647	0,406	20,467
SDES	2,987	3,084	4,996	9,280	3,186	0,313	23,846
POU	0,000	0,003	0,006	0,010	0,001	0,000	0,020
AZEV	0,001	0,004	0,022	0,012	0,003	0,000	0,043
POU	0,002	0,002	0,006	0,010	0,001	0,000	0,021
MUC	0,000	0,000	0,002	0,010	0,000	0,000	0,012
MFP	0,000	0,000	0,001	0,001	0,000	0,000	0,003
MUC	0,000	0,000	0,001	0,001	0,000	0,000	0,002
NFO	0,000	0,000	0,003	0,002	0,000	0,000	0,004
AZEV	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,001
NFO	0,000	0,000	0,002	0,002	0,000	0,000	0,005
CNA	0,000	0,001	0,004	0,003	0,000	0,000	0,008

2003-2004							
Tratamento	outubro	novembro	dezembro	janeiro	fevereiro	março	Total
MFP	0,010	0,000	0,022	0,000	0,046	0,011	0,089
SDES	14,274	8,756	40,003	0,000	16,715	12,629	92,376
SDES	20,611	61,056	42,812	0,000	12,413	15,693	152,586
POU	0,009	0,005	0,025	0,000	0,023	0,006	0,068
AZEV	0,016	0,010	0,146	0,000	0,019	0,006	0,198
POU	0,004	0,000	0,013	0,000	0,013	0,004	0,035
MUC	0,007	0,000	0,017	0,000	0,034	0,002	0,060
MFP	0,002	0,000	0,002	0,000	0,002	0,002	0,008
MUC	0,002	0,000	0,017	0,000	0,008	0,001	0,028
NFO	0,002	0,000	0,011	0,000	0,006	0,003	0,021
AZEV	0,001	0,000	0,006	0,000	0,002	0,001	0,009
NFO	0,008	0,001	0,009	0,000	0,005	0,001	0,024
CNA	0,021	0,000	0,047	0,000	0,006	0,001	0,075

2004							
Tratamento	abril	maio	junho	julho	agosto	setembro	Total
MFP	0,005	0,000	0,003	0,001	0,000	0,000	0,009
SDES	3,263	1,003	1,519	0,957	1,446	0,000	8,188
SDES	3,368	0,883	2,366	0,713	1,380	0,000	8,710
POU	0,000	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000	0,002
AZEV	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,001
POU	0,000	0,000	0,010	0,000	0,000	0,000	0,010
MUC	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,001
MFP	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
MUC	0,000	0,000	0,001	0,000	0,008	0,000	0,009
NFO	0,000	0,000	0,003	0,000	0,004	0,000	0,006
AZEV	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
NFO	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
CNA	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001

Continuação anexo A

2004-2005							
Tratamento	outubro	novembro	dezembro	janeiro	fevereiro	março	Total
MFP	0,002	0,003	0,000	0,000	0,000	0,000	0,005
SDES	2,046	0,042	0,000	0,000	0,000	0,000	2,087
SDES	2,358	0,041	0,000	0,000	0,000	0,000	2,399
POU	0,000	0,029	0,000	0,000	0,000	0,000	0,029
AZEV	0,004	0,003	0,000	0,000	0,000	0,000	0,006
POU	0,002	0,003	0,000	0,000	0,000	0,000	0,005
MUC	0,043	0,019	0,000	0,000	0,000	0,000	0,062
MFP	0,000	0,003	0,000	0,000	0,000	0,000	0,003
MUC	0,002	0,007	0,000	0,000	0,000	0,000	0,009
NFO	0,003	0,085	0,000	0,000	0,000	0,000	0,088
AZEV	0,000	0,006	0,000	0,000	0,000	0,000	0,006
NFO	0,000	0,005	0,000	0,000	0,000	0,000	0,005
CNA	0,000	0,004	0,000	0,000	0,000	0,000	0,004

2005							
Tratamento	abril	maio	junho	julho	agosto	setembro	Total
MFP	0,048	0,057	0,000	0,000	0,000	0,024	0,129
SDES	44,837	33,253	1,617	13,055	0,784	50,847	144,392
SDES	37,673	35,898	1,617	13,750	0,000	46,861	135,800
POU	0,017	0,003	0,000	0,000	0,000	0,008	0,027
AZEV	0,022	0,000	0,000	0,000	0,000	0,024	0,046
POU	0,017	0,000	0,000	0,000	0,000	0,039	0,056
MUC	2,035	0,007	0,012	0,005	0,000	0,047	2,106
MFP	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,026	0,026
MUC	0,025	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,025
NFO	0,034	0,012	0,015	0,000	0,000	0,012	0,072
AZEV	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,005	0,005
NFO	0,421	0,037	0,008	0,001	0,006	0,006	0,479
CNA	0,009	0,002	0,001	0,001	0,001	0,007	0,021

2005-2006							
Tratamento	outubro	novembro	dezembro	janeiro	fevereiro	março	Total
MFP	0,059	0,004	0,027	0,044	0,000	0,000	0,13
SDES	65,716	0,636	43,556	23,527	0,000	2,454	135,89
SDES	73,213	0,425	51,029	30,088	0,000	0,252	155,01
POU	0,023	0,000	0,022	0,010	0,000	0,000	0,06
AZEV	0,028	0,000	0,034	0,024	0,000	0,000	0,09
POU	0,038	0,000	0,012	0,732	0,000	0,000	0,78
MUC	0,209	0,004	0,145	0,049	0,000	0,013	0,42
MFP	0,043	0,000	0,017	0,006	0,000	0,016	0,08
MUC	1,301	0,004	0,030	0,030	0,000	0,031	1,40
NFO	0,042	0,000	0,018	0,043	0,000	0,010	0,11
AZEV	0,108	0,000	0,006	0,002	0,000	0,000	0,12
NFO	0,055	0,224	0,014	0,031	0,000	0,007	0,33
CNA	0,019	0,001	0,003	0,008	0,000	0,004	0,04

Continuação anexo A

2006							
Tratamento	abril	maio	junho	julho	agosto	setembro	Total
MFP	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
SDES	0,000	1,029	22,902	1,859	6,816	0,000	32,606
SDES	0,000	0,934	3,276	1,908	3,537	0,000	9,654
POU	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
AZEV	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
POU	0,000	0,010	0,000	0,000	0,000	0,000	0,010
MUC	0,000	0,001	0,000	0,000	0,007	0,000	0,009
MFP	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
MUC	0,000	0,022	0,000	0,000	0,000	0,000	0,022
NFO	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
AZEV	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
NFO	0,000	0,062	0,000	0,000	0,000	0,000	0,062
CNA	0,000	0,006	0,009	0,001	0,001	0,000	0,017

2006-2007							
Tratamento	outubro	novembro	dezembro	janeiro	fevereiro	março	Total
MFP	0,010	0,000	0,005	0,050	0,052	0,013	0,13
SDES	8,166	14,122	1,131	24,779	35,414	14,979	98,59
SDES	5,323	14,665	2,186	29,685	71,969	20,158	143,99
POU	0,039	0,000	0,000	0,190	0,066	0,013	0,31
AZEV	0,008	0,000	0,000	0,029	0,016	0,009	0,06
POU	0,003	0,000	0,000	0,053	0,010	0,064	0,13
MUC	0,011	0,000	0,000	0,188	0,087	0,063	0,35
MFP	0,000	0,000	0,000	0,024	0,503	0,000	0,53
MUC	0,000	0,000	0,000	0,061	0,040	0,068	0,17
NFO	0,000	0,000	0,012	0,044	1,255	0,005	1,32
AZEV	0,005	0,000	0,004	0,020	0,018	0,007	0,05
NFO	0,000	0,000	0,000	0,022	0,114	0,000	0,14
CNA	0,002	0,004	0,001	0,036	0,032	0,001	0,08

2007							
Tratamento	abril	maio	junho	julho	agosto	setembro	Total
MFP	0,000	0,024	0,055	0,000	0,000	0,080	0,158
SDES	14,462	14,403	34,829	11,854	4,431	20,635	100,614
SDES	14,768	11,626	43,371	13,416	5,066	40,642	128,889
POU	0,000	0,005	0,033	0,000	0,000	0,016	0,055
AZEV	0,000	0,000	0,031	0,000	0,000	0,019	0,050
POU	0,000	0,000	0,026	0,000	0,000	0,072	0,098
MUC	0,014	0,029	0,042	0,009	0,010	0,031	0,134
MFP	0,000	0,000	0,040	0,007	0,004	0,115	0,166
MUC	0,006	0,006	0,045	0,000	0,000	0,086	0,142
NFO	0,012	0,026	0,051	0,000	0,000	0,086	0,176
AZEV	0,000	0,000	0,009	0,000	0,000	0,431	0,439
NFO	0,000	0,000	0,051	0,000	0,000	0,007	0,059
CNA	0,003	0,003	0,003	0,000	0,000	0,014	0,023

Continuação anexo A

2007-2008							
Tratamento	outubro	novembro	dezembro	janeiro	fevereiro	março	Total
MFP	0,000	0,024	0,025	0,014	0,000	0,006	0,068
SDES	1,334	17,239	20,826	9,291	1,327	0,782	50,799
SDES	5,290	37,092	31,979	10,286	4,691	0,806	90,146
POU	0,000	0,017	0,010	0,000	0,000	0,000	0,027
AZEV	0,000	0,013	0,024	0,000	0,000	0,000	0,037
POU	0,000	0,036	0,066	0,000	0,000	0,001	0,103
MUC	0,000	0,024	0,329	0,000	0,000	0,003	0,357
MFP	0,000	0,004	0,011	0,000	0,000	0,000	0,015
MUC	0,000	0,021	0,051	0,000	0,000	0,003	0,076
NFO	0,000	0,010	0,036	0,000	0,000	0,002	0,048
AZEV	0,000	0,018	0,000	0,000	0,000	0,519	0,536
NFO	0,000	0,010	0,019	0,000	0,000	0,001	0,030
CNA	0,001	0,005	0,008	0,000	0,000	0,004	0,018

MFP: milho + feijão de porco/soja; POU: milho/pousio/soja; AZEV: milho/azevém + ervilhaca/soja; MUC: milho + mucuna/soja; CNA: campo nativo; NFO: milho/nabo forrageiro/soja

Anexo B. Perdas de água, em mm, nos períodos abril-setembro e outubro-março, entre os anos 1992 e 2008.

1992-1993			
Tratamentos	Abril - setembro	Outubro – março	Total
MFP	13,980	19,8800	33,860
SDES	155,550	318,0600	473,610
SDES	162,940	250,3300	413,270
POU	40,650	156,9100	197,560
AZEV	19,960	9,3600	29,320
POU	59,380	174,3100	233,690
MUC	16,410	29,3400	45,750
MFP	12,340	18,7900	31,130
MUC	16,030	22,4200	38,450
NFO	20,290	35,5600	55,850
AZEV	28,740	7,6500	36,390
NFO	17,930	34,3400	52,270
CNA	97,700	175,1000	272,800
CNA	97,700	175,1000	272,800

1993-1994			
Tratamentos	Abril - setembro	Outubro – março	Total
MFP	16,260	19,0600	35,320
SDES	243,940	290,5700	534,510
SDES	236,980	267,2300	504,210
POU	128,670	156,4600	285,130
AZEV	17,990	12,6800	30,670
POU	139,090	155,0800	294,170
MUC	12,820	13,5200	26,340
MFP	7,350	10,6100	17,960
MUC	13,360	16,9400	30,300
NFO	39,990	10,6900	50,680
AZEV	14,640	6,1700	20,810
NFO	40,830	3,9700	44,800
CNA	0,000	0,0000	0,000
CNA	0,000	0,0000	0,000

1994-1995			
Tratamentos	Abril - setembro	Outubro – março	Total
MFP	19,650	15,4700	35,120
SDES	457,950	328,6900	786,640
SDES	452,060	317,3200	769,380
POU	82,890	36,6000	119,490
AZEV	43,480	17,3400	60,820
POU	52,290	30,9700	83,260
MUC	17,160	11,0100	28,170
MFP	10,020	14,1200	24,140
MUC	18,580	8,7400	27,320
NFO	29,840	20,6300	50,470
AZEV	36,340	8,2200	44,560
NFO	27,530	19,2700	46,800
CNA	223,150	50,5700	273,720
CNA	65,700	50,5700	116,270

Continuação anexo B

1995							
Tratamento	abril	maio	junho	julho	agosto	setembro	Total
MFP	0,833	0,242	0,485	0,464	1,839	1,300	5,164
SDES	31,744	13,610	37,341	28,570	83,711	55,090	250,066
SDES	23,998	12,377	24,403	28,832	78,314	64,706	232,630
POU	6,602	0,289	1,892	0,553	2,145	2,981	14,462
AZEV	1,350	0,752	1,263	0,766	2,080	1,244	7,455
POU	2,300	0,183	1,093	0,375	1,709	1,596	7,256
MUC	0,543	0,126	0,296	0,325	0,557	0,455	2,302
MFP	0,465	0,175	0,699	0,516	1,001	0,994	3,850
MUC	1,210	0,327	0,459	0,518	1,494	2,094	6,102
NFO	3,197	0,369	1,468	0,472	1,866	0,868	8,240
AZEV	1,181	0,196	0,595	0,319	1,229	0,475	3,995
NFO	5,395	0,226	0,878	0,325	1,576	0,647	9,048
CNA	9,457	5,571	1,219	6,593	20,320	15,105	58,265

1995-1996							
Tratamento	outubro	novembro	dezembro	janeiro	fevereiro	março	Total
MFP	0,19	0,00	0,00	13,00	16,90	1,86	31,94
SDES	21,91	0,00	0,00	183,73	124,77	20,11	350,51
SDES	12,01	0,00	0,00	166,98	128,36	15,61	322,97
POU	0,24	0,00	0,00	20,15	7,34	0,46	28,19
AZEV	0,52	0,00	0,00	13,63	10,12	0,84	25,11
POU	0,07	0,00	0,00	12,05	5,29	0,56	17,97
MUC	0,19	0,00	0,00	11,02	13,84	1,11	26,17
MFP	0,27	0,00	0,00	13,45	17,89	0,40	32,01
MUC	0,20	0,00	0,00	14,17	9,39	0,90	24,66
NFO	0,15	0,00	0,00	5,74	1,67	0,19	7,75
AZEV	0,18	0,00	0,00	10,43	4,09	0,09	14,78
NFO	0,12	0,00	0,00	5,75	1,02	0,19	7,08
CNA	2,41	0,00	0,00	9,74	16,63	3,53	32,31

1996							
Tratamento	abril	maio	junho	julho	agosto	setembro	Total
MFP	3,361	0,000	0,674	0,201	2,043	0,269	6,55
SDES	23,886	0,000	3,027	1,486	32,941	7,243	68,58
SDES	36,200	0,000	1,671	0,929	21,625	2,971	63,40
POU	0,759	0,000	0,202	0,032	0,617	0,144	1,75
AZEV	0,895	0,000	0,836	0,249	2,114	0,959	5,05
POU	0,371	0,000	0,093	0,000	0,777	0,254	1,50
MUC	1,922	0,000	0,743	0,344	2,286	0,464	5,76
MFP	0,910	0,000	0,999	0,500	1,996	0,612	5,02
MUC	1,103	0,000	0,717	0,325	2,053	5,235	9,43
NFO	0,703	0,000	0,421	0,235	1,920	0,521	3,80
AZEV	0,207	0,000	0,113	0,047	0,466	0,089	0,92
NFO	0,212	0,000	0,151	0,062	0,406	0,084	0,92
CNA	0,606	0,000	0,500	0,000	0,616	0,708	2,43

Continuação anexo B

1996-1997							
Tratamento	outubro	novembro	dezembro	janeiro	fevereiro	março	Total
MFP	1,653	0,052	8,508	0,717	1,297	0,195	12,42
SDES	5,149	0,084	77,573	10,864	40,810	0,241	134,72
SDES	1,910	0,146	100,815	12,350	36,647	0,090	151,96
POU	0,048	0,026	3,051	0,064	0,675	0,071	3,94
AZEV	0,606	0,057	3,202	0,314	1,109	0,156	5,44
POU	0,285	0,078	4,126	0,116	0,543	0,095	5,24
MUC	0,244	0,096	6,855	0,227	1,303	0,115	8,84
MFP	1,345	0,073	3,163	0,408	0,868	0,121	5,98
MUC	1,893	0,090	4,417	1,095	1,858	0,256	9,61
NFO	1,082	0,018	2,393	0,143	0,453	0,081	4,17
AZEV	0,229	0,027	1,492	0,050	0,156	0,018	1,97
NFO	0,227	0,032	0,785	0,054	0,153	0,013	1,26
CNA	1,044	0,318	11,117	1,526	1,764	0,279	16,05

1997							
Tratamento	abril	maio	junho	julho	agosto	setembro	Total
MFP	0,29	0,94	1,03	0,81	4,46	0,34	7,85
SDES	2,31	23,00	87,48	8,91	51,50	7,82	181,02
SDES	1,86	14,00	64,06	8,17	45,73	7,09	140,91
POU	0,20	0,56	0,92	0,04	3,68	0,15	5,56
AZEV	0,29	1,49	1,90	0,11	4,18	0,40	8,37
POU	0,12	0,38	1,66	1,16	3,53	0,20	7,04
MUC	0,09	0,47	2,13	0,19	3,06	0,32	6,27
MFP	0,32	0,61	2,39	0,23	3,00	0,28	6,84
MUC	0,52	0,61	2,41	0,24	3,40	0,29	7,46
NFO	0,57	0,38	2,18	0,17	3,81	0,38	7,48
AZEV	0,01	0,16	2,59	0,34	3,06	0,21	6,37
NFO	0,04	0,75	0,84	0,10	1,49	0,07	3,29
CNA	0,25	0,41	1,60	1,07	4,40	0,50	8,23

1997-1998							
Tratamento	outubro	novembro	dezembro	janeiro	fevereiro	março	Total
MFP	8,28	3,89	4,10	6,25	4,60	1,70	28,82
SDES	158,22	116,85	95,61	81,66	65,60	70,97	588,92
SDES	143,25	108,17	111,80	43,14	73,79	95,91	576,06
POU	21,87	2,86	8,03	13,68	5,28	1,33	53,06
AZEV	6,59	2,59	4,21	2,51	2,94	4,74	23,58
POU	22,42	2,28	4,35	8,98	2,87	2,53	43,43
MUC	18,83	3,95	6,83	6,48	3,36	1,11	40,56
MFP	13,95	4,79	4,10	2,98	2,74	2,08	30,64
MUC	16,79	4,99	3,88	4,27	3,25	2,04	35,23
NFO	4,74	1,48	3,67	2,12	2,19	1,30	15,48
AZEV	7,30	2,78	4,00	2,43	2,23	2,73	21,47
NFO	1,51	0,46	2,01	0,86	0,49	0,13	5,46
CNA	8,67	2,27	4,21	8,55	2,49	1,13	27,31

Continuação anexo B

1998							
Tratamento	abril	maio	junho	julho	agosto	setembro	Total
MFP	1,29	0,44	0,19	2,35	0,56	8,13	12,96
SDES	79,02	14,86	17,09	66,86	67,94	84,85	330,62
SDES	134,30	15,23	15,60	66,84	30,17	69,90	332,03
POU	21,73	1,86	1,39	10,14	9,66	23,77	68,55
AZEV	13,28	1,49	1,21	6,06	3,38	5,42	30,83
POU	0,82	0,47	0,34	3,14	2,61	11,18	18,56
MUC	0,62	0,22	0,23	4,40	3,55	6,61	15,63
MFP	1,16	0,90	0,68	2,56	1,52	3,40	10,22
MUC	0,95	0,38	0,21	2,67	1,61	3,24	9,05
NFO	12,54	0,32	0,30	3,35	1,69	5,07	23,26
AZEV	1,47	1,02	0,63	2,44	0,96	1,10	7,62
NFO	0,17	0,12	1,03	1,01	0,56	1,21	4,11
CNA	12,57	1,14	0,75	1,99	0,95	1,79	19,19

1998-1999							
Tratamento	outubro	novembro	dezembro	janeiro	fevereiro	março	Total
MFP	0,37	1,30	1,35	2,69	1,68	2,41	9,81
SDES	15,17	17,09	12,81	25,06	35,75	14,93	120,80
SDES	20,01	26,64	11,51	30,95	57,34	23,92	170,37
POU	0,74	0,56	0,93	1,67	1,02	0,40	5,32
AZEV	1,11	1,11	0,46	1,39	3,16	1,02	8,26
POU	0,66	0,56	0,46	1,17	0,55	0,40	3,79
MUC	1,02	1,49	0,99	2,04	2,23	1,58	9,35
MFP	0,20	0,10	0,16	1,40	0,79	0,88	3,54
MUC	0,70	0,02	0,20	1,04	1,00	1,40	4,36
NFO	0,84	1,11	0,05	0,76	0,28	0,59	3,63
AZEV	0,08	0,01	0,07	0,22	0,17	0,19	0,74
NFO	0,21	0,00	0,06	0,39	0,14	0,25	1,06
CNA	0,43	0,64	0,59	1,05	0,45	0,34	3,51

1999							
Tratamento	abril	maio	junho	julho	agosto	setembro	Total
MFP	1,300	2,229	1,579	0,000	0,371	1,123	6,60
SDES	16,470	42,966	112,916	0,279	5,014	46,635	224,28
SDES	45,439	32,173	67,943	0,279	4,271	48,155	198,26
POU	0,168	0,186	1,114	0,012	0,155	1,507	3,14
AZEV	1,579	1,114	3,714	0,005	0,000	0,650	7,06
POU	0,196	0,186	0,729	0,000	0,031	0,228	1,37
MUC	2,414	1,114	5,014	0,019	0,031	1,021	9,61
MFP	0,732	0,195	0,412	0,002	0,195	0,274	1,81
MUC	2,169	1,199	3,398	0,021	0,053	1,225	8,07
NFO	0,316	0,557	1,207	0,005	0,026	0,510	2,62
AZEV	0,000	0,371	0,412	0,010	0,059	0,026	0,88
NFO	0,397	0,371	0,929	0,002	0,053	0,759	2,51
CNA	0,771	0,275	0,711	0,002	0,104	0,343	2,21

Continuação anexo B

1999-2000							
Tratamento	outubro	novembro	dezembro	janeiro	fevereiro	março	Total
MFP	2,238	0,186	1,393	5,200	0,464	0,464	9,94
SDES	61,793	10,586	16,325	60,748	30,378	44,350	224,18
SDES	52,984	10,586	13,719	52,467	39,372	46,148	215,28
POU	2,693	0,557	0,650	5,571	0,000	2,414	11,89
AZEV	1,671	0,186	0,650	3,157	0,557	2,229	8,45
POU	0,929	0,186	0,929	1,671	0,208	0,381	4,30
MUC	5,107	0,743	2,507	9,843	0,557	2,507	21,26
MFP	0,400	0,000	0,899	1,999	0,071	0,885	4,25
MUC	2,598	0,400	1,199	3,198	0,208	1,594	9,20
NFO	1,671	0,186	0,520	1,486	0,156	0,929	4,95
AZEV	0,211	0,000	0,464	1,486	0,182	0,674	3,02
NFO	4,086	0,743	0,650	2,414	0,143	1,575	9,61
CNA	1,405	0,000	0,000	0,999	0,208	1,329	3,94

2000							
Tratamento	abril	maio	junho	julho	agosto	setembro	Total
MFP	0,13	1,67	1,03	0,65	0,93	2,39	6,80
SDES	2,41	56,94	119,70	40,06	35,19	71,07	325,37
SDES	2,60	76,73	150,28	51,75	43,81	112,07	437,25
POU	0,00	2,60	0,93	1,12	1,21	2,77	8,63
AZEV	0,26	4,09	3,16	2,23	2,23	4,47	16,43
POU	0,04	2,88	0,74	1,31	1,11	3,70	9,78
MUC	0,03	2,69	2,32	1,26	1,11	3,50	10,91
MFP	0,17	1,50	2,19	0,70	0,40	2,62	7,58
MUC	0,00	1,90	1,10	1,00	0,70	2,08	6,77
NFO	0,00	1,67	0,67	0,77	0,65	2,43	6,19
AZEV	0,00	1,21	0,75	0,46	0,28	1,30	4,00
NFO	0,00	0,82	2,98	0,56	0,37	1,03	5,76
CNA	0,13	2,10	1,56	1,60	1,56	4,09	11,04

2000-2001							
Tratamento	outubro	novembro	dezembro	janeiro	fevereiro	março	Total
MFP	0,63	0,94	4,87	5,00	1,07	2,26	14,78
SDES	72,37	66,14	59,75	116,07	26,39	28,99	369,71
SDES	82,63	78,74	48,46	115,19	33,22	27,69	385,93
POU	0,41	1,30	4,74	4,48	0,87	2,79	14,58
AZEV	2,97	2,60	3,71	5,95	1,19	2,38	18,80
POU	1,40	0,75	4,27	2,09	0,19	1,77	10,48
MUC	0,66	1,67	2,77	2,00	2,41	2,23	11,74
MFP	0,83	2,20	2,85	3,63	0,76	2,58	12,84
MUC	1,18	1,00	2,08	3,60	0,94	2,54	11,33
NFO	0,83	1,11	2,27	2,39	0,38	2,19	9,18
AZEV	0,83	0,39	1,68	1,70	0,18	1,30	6,09
NFO	0,92	0,54	1,39	2,33	0,62	1,75	7,56
CNA	3,10	0,90	3,96	5,00	1,25	3,82	18,01

Continuação anexo B

2001							
Tratamento	abril	maio	junho	julho	agosto	setembro	Total
MFP	0,779	0,455	0,566	10,586	0,195	2,043	14,62
SDES	83,926	33,764	75,831	71,541	37,569	80,189	382,82
SDES	88,237	66,144	60,540	121,911	26,776	76,963	440,57
POU	1,838	1,579	1,857	47,736	0,195	2,321	55,53
AZEV	0,960	0,743	1,486	10,029	0,195	1,959	15,37
POU	0,936	0,929	1,123	9,471	0,156	1,132	13,75
MUC	0,577	0,510	0,329	11,143	0,000	0,765	13,32
MFP	0,247	0,338	1,472	4,197	0,052	1,111	7,42
MUC	1,359	1,199	1,899	6,596	0,234	2,493	13,78
NFO	0,429	0,325	0,464	12,257	0,052	1,309	14,84
AZEV	0,830	0,648	0,663	10,029	0,000	0,715	12,88
NFO	1,106	0,464	0,464	12,629	0,182	1,123	15,97
CNA	2,956	1,399	2,099	13,592	0,640	3,098	23,78

2001-2002							
Tratamento	outubro	novembro	dezembro	janeiro	fevereiro	março	Total
MFP	0,636	1,086	0,247	0,929	2,052	1,105	6,05
SDES	118,803	38,732	19,337	50,034	44,790	34,008	305,70
SDES	162,331	43,757	20,254	44,266	45,162	42,840	358,61
POU	5,989	1,816	0,097	1,857	3,408	0,929	14,10
AZEV	2,160	1,593	0,529	2,600	0,994	1,393	9,27
POU	1,966	0,921	0,182	2,786	0,912	0,557	7,32
MUC	1,296	0,481	0,130	3,714	2,492	2,971	11,08
MFP	1,189	0,455	0,430	1,399	1,703	0,530	5,71
MUC	1,906	0,876	0,556	2,199	2,290	0,820	8,65
NFO	1,681	0,377	0,052	0,743	0,819	0,808	4,48
AZEV	1,283	0,779	0,464	1,857	0,529	0,910	5,82
NFO	1,110	0,325	0,104	0,743	0,696	0,325	3,30
CNA	4,397	1,894	1,189	1,999	1,559	1,199	12,24

2002							
Tratamento	abril	maio	junho	julho	agosto	setembro	Total
MFP	1,625	2,740	1,309	1,223	0,701	5,926	13,52
SDES	72,105	134,779	42,758	96,310	167,367	112,708	626,03
SDES	78,401	122,187	37,362	92,712	162,870	109,110	602,64
POU	1,922	4,104	11,514	2,626	13,650	21,543	55,36
AZEV	1,458	3,402	3,900	2,786	6,593	15,043	33,18
POU	1,029	2,631	8,914	3,049	15,786	21,729	53,14
MUC	2,929	7,883	2,229	0,921	3,807	18,555	36,32
MFP	0,898	2,442	2,798	1,685	3,698	5,965	17,49
MUC	1,298	3,193	2,498	2,567	4,497	8,695	22,75
NFO	0,622	4,169	4,643	2,955	7,429	16,714	36,53
AZEV	0,817	2,115	2,786	1,352	4,829	2,043	13,94
NFO	0,713	1,836	2,786	2,942	6,129	8,897	23,30
CNA	2,332	4,505	2,998	3,398	5,397	6,596	25,23

Continuação anexo B

2002-2003							
Tratamento	outubro	novembro	dezembro	janeiro	fevereiro	março	Total
MFP	1,601	1,925	1,489	2,238	6,013	2,229	15,49
SDES	162,043	61,231	69,873	33,764	21,357	32,173	380,44
SDES	220,879	55,835	69,861	75,139	19,129	71,749	512,59
POU	11,240	3,628	2,995	3,723	6,388	3,343	31,32
AZEV	10,365	4,973	2,897	4,550	7,475	5,386	35,65
POU	13,739	4,786	3,508	3,073	7,505	3,343	35,95
MUC	6,825	1,547	1,396	6,604	11,139	2,786	30,30
MFP	3,661	1,894	1,215	1,355	1,742	1,199	11,07
MUC	5,019	2,528	2,220	1,481	1,129	1,199	13,58
NFO	7,051	3,088	1,903	1,959	1,482	1,486	16,97
AZEV	3,396	1,883	0,737	0,981	1,358	0,195	8,55
NFO	4,264	1,378	0,763	1,039	2,531	0,929	10,90
CNA	7,191	3,398	1,851	0,515	5,130	1,799	19,88

2003							
Tratamento	abril	maio	junho	julho	agosto	setembro	Total
MFP	0,557	0,175	0,390	1,123	0,371	0,093	2,71
SDES	14,543	10,214	20,057	44,186	20,480	5,571	115,05
SDES	18,681	9,286	44,557	63,974	23,178	4,829	164,50
POU	0,650	0,156	1,393	4,921	0,371	0,000	7,49
AZEV	0,929	0,464	2,600	7,614	1,207	0,000	12,81
POU	0,594	0,557	1,486	3,974	0,650	0,026	7,29
MUC	0,241	0,123	0,540	4,281	0,195	0,052	5,43
MFP	0,195	0,149	0,595	0,994	0,195	0,006	2,13
MUC	0,169	0,084	0,517	0,755	0,195	0,013	1,73
NFO	0,195	0,052	0,834	1,319	0,195	0,000	2,59
AZEV	0,078	0,000	0,039	0,186	0,130	0,000	0,43
NFO	0,149	0,156	0,542	1,032	0,371	0,006	2,26
CNA	0,440	0,182	1,199	1,894	0,195	0,195	4,10

2003-2004							
Tratamento	outubro	novembro	dezembro	janeiro	fevereiro	março	Total
MFP	2,693	0,390	6,686	0,000	5,386	3,436	18,59
SDES	23,178	53,552	161,279	0,013	28,575	57,357	323,95
SDES	82,542	76,938	175,670	0,026	41,167	44,765	421,11
POU	4,271	2,541	9,852	0,039	5,571	1,857	24,13
AZEV	5,107	3,841	13,371	0,052	6,500	2,600	31,47
POU	2,879	1,123	12,071	0,065	4,829	1,300	22,27
MUC	10,586	0,286	13,929	0,078	10,586	5,014	40,48
MFP	0,800	0,325	8,984	0,091	0,800	0,800	11,80
MUC	0,899	0,390	12,787	0,104	2,399	2,399	18,98
NFO	0,929	0,390	11,709	0,117	1,114	1,300	15,56
AZEV	0,279	0,000	11,243	0,130	1,021	0,557	13,23
NFO	1,207	0,566	7,930	0,143	2,229	0,929	13,00
CNA	4,297	0,390	12,182	0,156	1,599	1,399	20,02

Continuação anexo B

2004							
Tratamento	abril	maio	junho	julho	agosto	setembro	Total
MFP	0,464	0,195	0,929	0,557	0,000	0,195	2,34
SDES	17,781	10,586	10,586	7,429	10,586	9,286	66,25
SDES	22,279	10,586	30,374	7,429	10,586	7,986	89,24
POU	0,186	0,091	0,464	0,000	0,000	0,026	0,77
AZEV	0,156	0,091	0,371	0,000	0,000	0,104	0,72
POU	0,117	0,201	0,650	0,000	0,000	0,006	0,97
MUC	0,078	0,117	0,836	0,000	0,000	0,052	1,08
MFP	0,104	0,156	0,221	0,000	0,000	0,052	0,53
MUC	0,195	0,130	0,600	0,000	0,700	0,195	1,82
NFO	0,078	0,195	0,929	0,000	0,743	0,195	2,14
AZEV	0,000	0,091	0,091	0,000	0,000	0,013	0,19
NFO	0,208	0,032	0,186	0,000	0,000	0,130	0,56
CNA	0,208	1,099	0,221	0,000	0,000	0,195	1,72

2004-2005							
Tratamento	outubro	novembro	dezembro	janeiro	fevereiro	março	Total
MFP	0,836	1,021	0,000	0,000	0,000	0,000	1,86
SDES	28,575	10,586	0,000	0,000	0,000	0,000	39,16
SDES	54,659	10,586	0,000	0,000	0,000	0,000	65,24
POU	0,557	0,371	0,000	0,000	0,000	0,000	0,93
AZEV	1,021	1,486	0,000	0,000	0,000	0,000	2,51
POU	0,557	1,300	0,000	0,000	0,000	0,000	1,86
MUC	2,414	7,429	0,000	0,000	0,000	0,000	9,84
MFP	0,221	0,800	0,000	0,000	0,000	0,000	1,02
MUC	0,800	1,799	0,000	0,000	0,000	0,000	2,60
NFO	1,114	1,300	0,000	0,000	0,000	0,000	2,41
AZEV	0,557	1,114	0,000	0,000	0,000	0,000	1,67
NFO	0,000	0,929	0,000	0,000	0,000	0,000	0,93
CNA	0,208	1,799	0,000	0,000	0,000	0,000	2,01

2005							
Tratamento	abril	maio	junho	julho	agosto	setembro	Total
MFP	1,76	0,84	0,19	0,19	0,19	2,15	5,34
SDES	90,82	32,35	36,67	14,18	6,78	37,08	217,88
SDES	105,71	46,74	36,67	10,59	0,00	48,78	248,49
POU	0,74	0,19	0,00	0,03	0,00	0,37	1,33
AZEV	0,60	0,09	0,00	0,03	0,06	0,93	1,71
POU	0,44	0,19	0,00	0,00	0,00	1,06	1,69
MUC	0,62	0,94	1,30	0,28	0,22	11,15	14,51
MFP	0,39	0,09	0,05	1,40	0,00	1,98	3,91
MUC	1,90	0,30	0,19	0,19	0,19	0,56	3,34
NFO	1,71	1,02	0,93	0,19	0,19	1,05	5,10
AZEV	0,10	0,00	0,00	0,00	0,18	1,12	1,41
NFO	3,34	1,58	1,11	0,84	0,65	0,93	8,45
CNA	4,50	1,60	0,60	0,70	0,50	2,90	10,79

Continuação anexo B

2005-2006							
Tratamento	outubro	novembro	dezembro	janeiro	fevereiro	março	Total
MFP	2,23	0,19	0,88	0,97	0,00	0,14	4,41
SDES	117,69	8,64	24,08	47,56	0,00	13,28	211,25
SDES	43,66	7,61	15,98	65,21	0,00	10,59	143,05
POU	3,06	0,00	1,86	0,40	0,00	0,04	5,36
AZEV	1,11	0,00	0,93	0,68	0,00	0,00	2,72
POU	2,36	0,00	1,02	0,49	0,00	0,02	3,89
MUC	13,28	0,19	10,59	3,35	0,00	0,28	27,68
MFP	2,02	0,00	0,90	0,87	0,00	0,38	4,17
MUC	3,49	0,50	1,40	1,27	0,00	0,80	7,46
NFO	1,96	0,00	1,39	1,29	0,00	0,28	4,92
AZEV	9,77	0,00	0,84	0,42	0,00	0,00	11,02
NFO	6,41	0,56	1,67	1,76	0,00	0,74	11,14
CNA	7,50	0,40	1,60	2,83	0,00	1,00	13,32

2006							
Tratamento	abril	maio	junho	julho	agosto	setembro	Total
MFP	0,000	0,208	0,117	0,091	0,195	0,000	0,61
SDES	0,000	22,692	32,256	25,767	24,257	0,000	104,97
SDES	0,000	20,074	32,619	25,767	17,781	0,000	96,24
POU	0,000	0,019	0,056	0,000	0,104	0,000	0,18
AZEV	0,000	0,000	0,130	0,104	0,110	0,000	0,34
POU	0,000	0,311	0,091	3,903	0,071	0,000	4,38
MUC	0,000	0,392	0,110	0,139	0,557	0,000	1,20
MFP	0,000	0,279	0,162	0,117	0,195	0,000	0,75
MUC	0,000	0,740	0,208	0,130	0,143	0,000	1,22
NFO	0,000	0,364	0,136	0,117	0,143	0,000	0,76
AZEV	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00
NFO	0,000	0,929	0,208	0,136	0,182	0,000	1,45
CNA	0,000	1,199	1,199	0,800	0,800	0,000	4,00

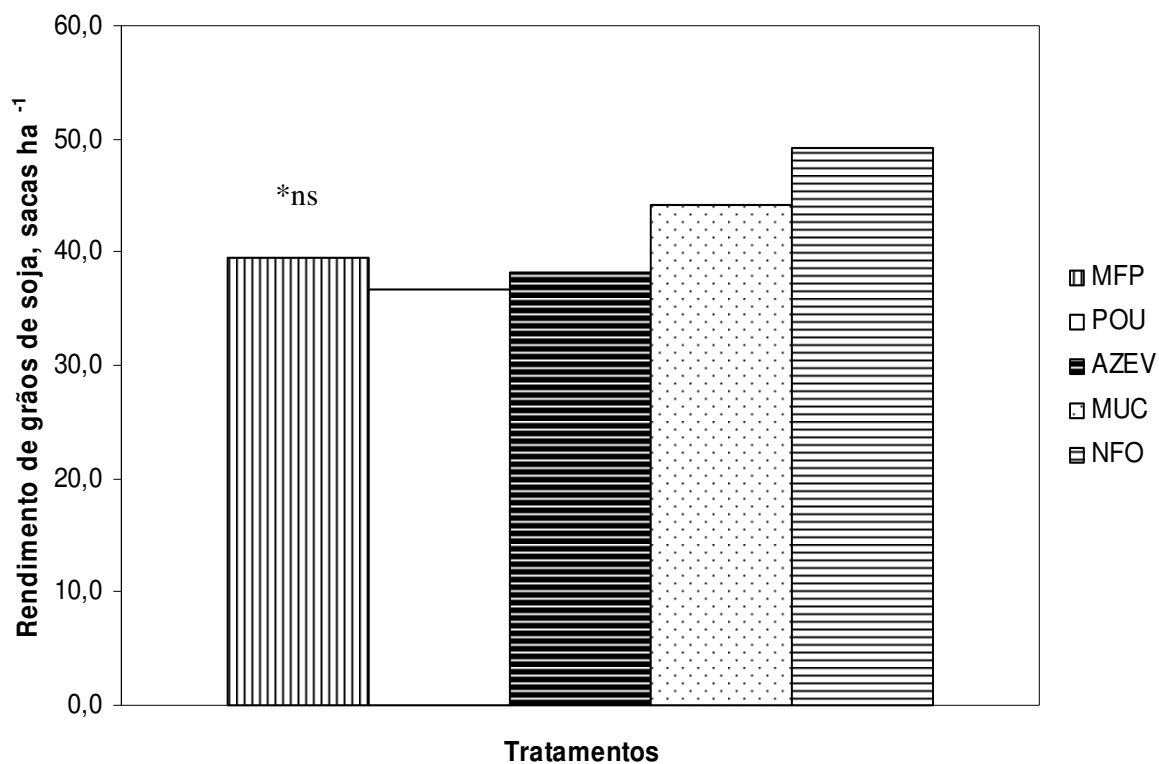
2006-2007							
Tratamento	outubro	novembro	dezembro	janeiro	fevereiro	março	Total
MFP	1,300	0,357	0,279	2,702	5,107	0,929	10,67
SDES	24,977	46,531	13,284	85,899	67,044	10,766	248,50
SDES	24,078	32,140	13,284	111,084	90,430	13,284	284,30
POU	2,971	0,026	0,000	14,114	10,214	0,836	28,16
AZEV	0,743	0,117	0,013	2,084	1,300	0,464	4,72
POU	0,371	0,130	0,052	2,507	1,114	0,464	4,64
MUC	3,250	0,506	0,260	15,935	12,257	0,464	32,67
MFP	0,195	0,078	0,013	1,311	2,299	0,195	4,09
MUC	0,221	0,188	0,130	2,064	4,397	0,500	7,50
NFO	0,260	0,266	0,371	2,981	2,321	0,371	6,57
AZEV	0,371	0,058	0,371	3,475	3,343	0,557	8,18
NFO	0,390	0,175	0,104	2,024	10,957	0,130	13,78
CNA	1,999	1,499	0,600	9,089	10,993	0,700	24,88

Continuação anexo B

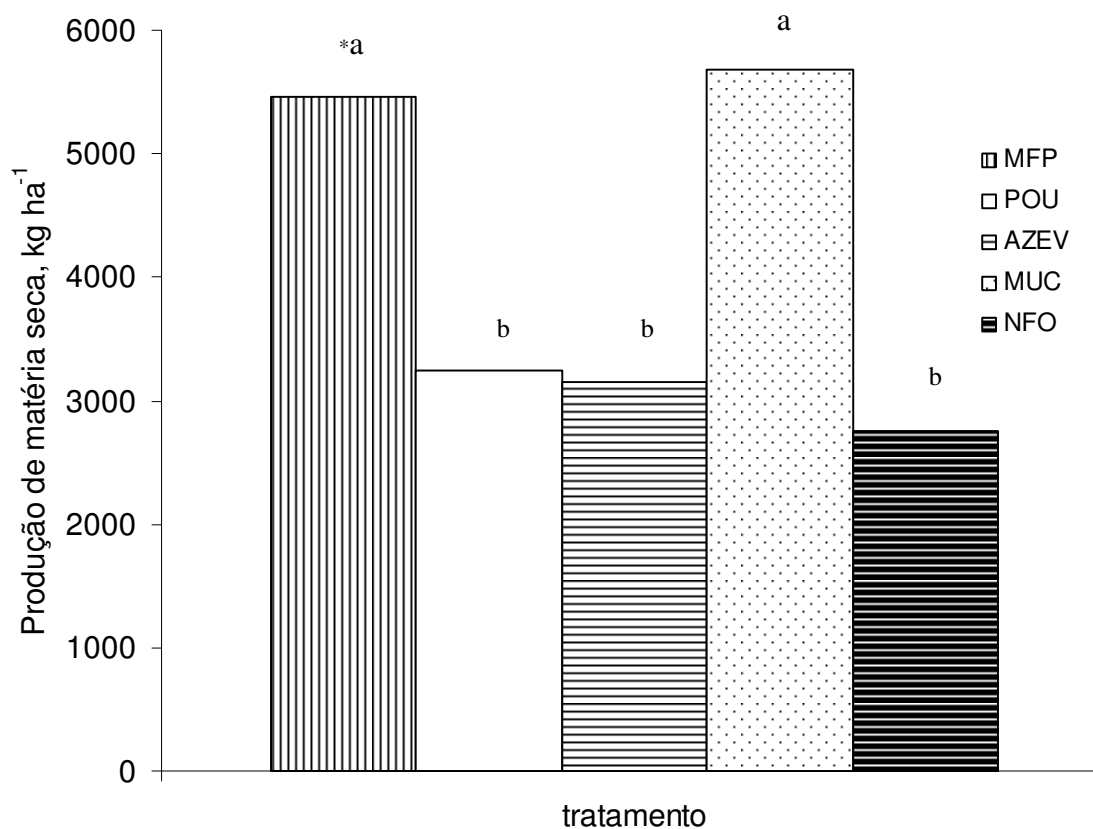
2007							
Tratamento	abril	maio	junho	julho	agosto	setembro	Total
MFP	0,390	1,240	1,629	0,247	0,182	2,043	5,73
SDES	31,965	41,575	57,150	26,823	31,739	42,966	232,22
SDES	24,769	35,029	58,949	22,140	32,482	68,151	241,52
POU	0,052	0,570	1,956	0,091	0,006	0,743	3,42
AZEV	0,058	0,117	0,875	0,065	0,006	2,043	3,16
POU	0,156	0,143	1,160	0,104	0,091	3,157	4,81
MUC	1,393	3,382	1,773	0,568	0,369	6,871	14,36
MFP	0,143	0,247	1,332	0,495	0,495	1,599	4,31
MUC	0,521	0,662	1,751	0,091	0,091	3,398	6,51
NFO	1,207	1,337	0,938	0,169	0,143	4,271	8,06
AZEV	0,091	0,081	0,935	0,039	0,006	10,586	11,74
NFO	0,143	0,165	0,808	0,201	0,214	1,486	3,02
CNA	1,499	0,824	1,516	0,052	0,013	6,396	10,30

2007-2008							
Tratamento	outubro	novembro	dezembro	janeiro	fevereiro	março	Total
MFP	0,006	1,538	2,600	0,821	0,234	0,968	6,17
SDES	5,571	45,462	51,753	26,881	9,843	41,713	181,22
SDES	5,571	71,796	66,144	35,191	15,971	55,107	249,78
POU	0,000	0,371	1,486	0,000	0,000	0,000	1,86
AZEV	0,000	0,743	0,702	0,000	0,006	0,026	1,48
POU	0,000	1,857	3,436	0,032	0,052	0,279	5,66
MUC	0,104	5,252	3,157	0,377	0,208	1,032	10,13
MFP	0,026	0,552	1,155	0,000	0,000	0,195	1,93
MUC	0,006	1,568	2,867	0,065	0,078	1,355	5,94
NFO	0,006	0,464	1,950	0,234	0,078	0,728	3,46
AZEV	0,006	0,749	2,306	0,026	0,000	1,671	4,76
NFO	0,052	0,581	1,207	0,045	0,162	0,557	2,61
CNA	0,300	1,811	2,698	0,286	0,325	1,155	6,57

MFP: milho + feijão de porco/soja; POU: milho/pousio/soja; AZEV: milho/azevém + ervilhaca/soja; MUC: milho + mucuna/soja; CNA: campo nativo; NFO: milho/nabo forrageiro/soja.



Anexo C. Rendimento de grãos de soja na safra 2006-2007, em diferentes sistemas de culturas sob plantio direto. (MFP: milho + feijão de porco/soja; POU: milho/pousio/soja/pousio; AZEV: milho/azevém + ervilhaca/soja/ azevém + ervilhaca; MUC: milho + mucuna/soja; NFO: milho/nabo forrageiro/soja/nabo forrageiro). *ns = diferenças não significativas.



Anexo D. Rendimento de matéria seca de soja na safra 2006-2007, em diferentes sistemas de culturas sob plantio direto. (MFP: milho + feijão de porco/soja; POU: milho/pousio/soja/pousio; AZEV: milho/azevém + ervilhaca/soja/ azevém + ervilhaca; MUC: milho + mucuna/soja; NFO: milho/nabo forrageiro/soja/ nabo forrageiro). *Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).



Anexo E. Detalhe da determinação da taxa de infiltração de água no solo, pela metodologia dos duplos anéis concêntricos (a), e da coleta de amostras para determinação da densidade e porosidade do solo (b).

a)



b)



Anexo F. Detalhe da parcela experimental com a cultura do nabo forrageiro em estágio de pleno florescimento (a) e de uma parcela com a cultura do milho + mucuna (b).



Anexo G. Detalhe da parcela experimental com a utilização de pousio invernal, ao centro, e de uma parcela com o consórcio azevém + ervilhaca, à direita (a) e de uma parcela com o consórcio entre milho + feijão de porco (b).



Anexo H. Detalhe de uma parcela experimental com a cultura da soja (a) e da parcela com o campo nativo (b).

a)



b)



Anexo I. Detalhe das calhas coletoras de enchurradas localizadas na parte inferior das parcelas experimentais (a) e da trincheira onde estão alocadas as caixas para armazenamento do solo e água advindos das parcelas (b).