

DOUGLAS HENRIQUE BANDEIRA

**SISTEMAS DE MANEJO DO SOLO SOB APLICAÇÃO
DE DEJETO LÍQUIDO DE SUÍNOS: PROPRIEDADES
FÍSICAS E QUÍMICAS DO SOLO E EROSÃO HÍDRICA**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-graduação em Ciência do Solo do Centro de Ciências Agroveterinárias da Universidade do Estado de Santa Catarina, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Ciência do Solo.

Orientador: Ildgardis Bertol.

LAGES, SANTA CATARINA

2015

B214s

Bandeira, Douglas Henrique

Sistemas de manejo do solo sob aplicação de dejetos líquidos de suínos: propriedades físicas e químicas do solo e erosão hídrica / Douglas Henrique Bandeira. - Lages, 2015.

138 p. : il. ; 21 cm

Orientador: Ildegardis Bertol

Bibliografia: p. 118-135

Dissertação (mestrado) - Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências Agroveterinárias, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Lages, 2015.

1. Perdas de solo e água. 2. Perdas de nutrientes. 3. Sistemas de manejo do solo. I. Bandeira, Douglas Henrique. II. Bertol, Ildegardis. III. Universidade do Estado de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo. IV. Título

CDD: 631.45 - 20.ed.

DOUGLAS HENRIQUE BANDEIRA

SISTEMAS DE MANEJO DO SOLO SOB APLICAÇÃO DE DEJETO LÍQUIDO DE SUÍNOS: PROPRIEDADES FÍSICAS E QUÍMICAS DO SOLO E EROSÃO HÍDRICA

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-graduação em Ciência do Solo do Centro de Ciências Agroveterinárias da Universidade do Estado de Santa Catarina, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Ciência do Solo.

Banca Examinadora

Orientador: _____
Prof. Dr. Ildegardis Bertol
Universidade do Estado de Santa Catarina

Membro: _____
Prof. Dr. Fabrício Tondello Barbosa
Universidade do Estado de Santa Catarina

Membro Externo: _____
Prof. Dr. Jefferson Schick
Membro externo – IFC/Sombrio - SC

LAGES, 15 de junho de 2015.

Aos meus pais.

Aos meus irmãos.

Aos amigos.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente à Deus, pelo dom da vida.

Aos meus pais, Vivaldino Bandeira e Sandra Prudêncio, pela educação e ensinamentos que recebi, que ainda recebo e receberei, pelo apoio, exemplo, e demonstrações de superação, principalmente pelo incentivo à continuidade dos estudos, permitindo-me chegar ao título de Mestre.

Aos meus irmãos, Mayki, Fabiana e Francielly, pelo amor e compreensão dispendidos nos momentos em que não pude estar junto a eles.

À minha namorada, Ana Sofia, pela inspiração, apoio, dedicação e compreensão.

Ao professor Ildegardis Bertol, pelos ensinamentos que levarei para a vida, os quais me entusiasmaram no início de minha carreira acadêmica; pela eficaz e segura orientação que contribuíram para o meu crescimento profissional; e pela ajuda financeira que permitiu manter-me os primeiros meses no curso.

Ao professor Fabrício Tondello Barbosa, pela amizade e exemplo de comprometimento com a pesquisa científica.

Aos professores que, de alguma forma, participaram de minha formação por meio de disciplinas ministradas.

Aos familiares e amigos que sempre estiveram presentes na minha vida, permitindo convívio e alegria.

Aos colegas de laboratório, técnicos e ajudantes que possibilitaram a realização desta pesquisa da melhor forma possível.

À todos, muito obrigado!

“Gente simples, fazendo coisas pequenas em lugares pouco importantes, conseguem mudanças extraordinárias.”

Dom Moacyr Grecho

RESUMO

BANDEIRA, Douglas Henrique. **Sistemas de manejo do solo sob aplicação de dejetos líquidos de suínos: propriedades físicas e químicas do solo e erosão hídrica**. 2015. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade do Estado de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Lages, SC, 2015.

A erosão hídrica pluvial é causada pela água da chuva sobre o solo, compreendendo a desagregação, transporte e deposição. Essas fases não são distintas uma das outras e ocorrem concomitantemente. Questionamentos envolvendo a qualidade da água em áreas com intensiva aplicação de resíduo animal têm sido levantados em função do seu potencial poluidor. A pesquisa objetivou avaliar a influência da aplicação de dose única dejetos líquidos de suínos sobre algumas propriedades físicas e químicas de um Cambissolo Húmico Alumínico Léptico e a erosão hídrica, em Lages – SC, sob chuva natural. Estudaram-se os tratamentos de cultivo e manejo do solo: semeadura direta (SD), preparo reduzido (PR), rotação de preparos (RP), preparo convencional (PC) e solo sem cultivo (SC). Após a germinação de cada cultura (milho, aveia, soja e nabo), foi aplicada uma única dose de dejetos líquidos de suínos, $50 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, em cada tratamento. Na SD, na camada superficial a densidade do solo e a estabilidade de agregados são maiores do que no PC, enquanto, a macroporosidade é menor; na superfície do solo aumentam mais os teores CO, P e K na semeadura direta do que no PC. A SD reduz as perdas de solo em 81 % em relação ao PC, enquanto, as perdas de água são reduzidas em 13 %; o PC com cultivo do solo reduz

as perdas de solo em 97 % em relação ao mesmo tipo de preparo sem cultivo (SC), enquanto, as perdas de água são reduzidas em 14 %. A aplicação da dose de $50 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ de dejetos líquidos de suínos na superfície do solo, em uma única aplicação no início de cada um dos quatro cultivos, melhora os atributos físicos e químicos do solo e diminui a erosão hídrica, em comparação ao histórico no período de 20 anos que antecedeu esta pesquisa, em diferentes sistemas de manejo do solo.

Palavra-chave: Perdas de solo e água, perdas de nutrientes, sistemas de manejo do solo.

ABSTRACT

BANDEIRA, Douglas Henrique. Soil management systems under application of pig slurry: physical and chemical properties of soil and water erosion. 2015. Dissertation (Master in Soil Science) - University of the State of Santa Catarina. Graduate Program in Soil Science, Lages, SC, 2015.

The rainfall erosion is caused by rainwater on the ground, including the breakdown, transportation and deposition. These phases are not different from each other, and occur concurrently. Questions involving water quality in areas with intensive application of animal waste have been raised according to their pollution potential. The research aimed to evaluate the influence of single dose application of pig slurry on some physical and chemical properties of a Haplumbrept soil and water erosion in Lages - SC, under natural rainfall. They studied the treatments cultivation and soil management: tillage (NT), reduced tillage (PR), preparations of rotation (RP), conventional tillage (CT) and bare soil (SC). After germination for each crop (corn, oats, radish and soybeans), a single dose of pig slurry was applied $50 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ at each treatment. In DS, the surface layer of the soil density and the stability of the aggregates are larger than the PC, while macroporosity is smaller; on the soil surface more increase CO, P and K in direct seeding than on the PC. SD reduces soil losses by 81% compared to the PC, while water losses are reduced by 13%; PC with soil cultivation reduces soil loss by 97% compared to the same kind of preparation fallow (SC), while water losses are reduced by 14%. The application dose of $50 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ pig slurry on the soil surface in a

single application at the beginning of each of the four crops, improve the physical and chemical characteristics of the soil and reduces the erosion, as compared to 20 years of history in the run-up this research, in different soil management systems.

Keyword: soil and water losses, losses of nutrients, soil management systems.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 1** - Operação de aplicação do dejetos líquido de suínos no início do cultivo de milho.55
- Figura 2** - Imagem de duas unidades experimentais.57

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Propriedades físicas e químicas de um Cambissolo Húmico alumínico léptico de Lages (SC), determinadas no perfil do solo no local do experimento.	50
Tabela 2 - Caracterização física do solo antes da pesquisa, em quatro camadas do solo, em diferentes sistemas de cultivo e manejo: porosidade total (Pt), microporosidade (Mi), macroporosidade (Ma) densidade do solo (Ds), diâmetro médio ponderado (DMP).	59
Tabela 3 - Data correspondente à cada coleta de enxurrada, por cultivo, cujas amostras destinaram-se às análises químicas.	67
Tabela 4 - Número de vezes que cada cultura foi cultivada na área experimental, no período de 20 anos da série histórica.	69
Tabela 5 - Macroporosidade, microporosidade e porosidade total do solo em quatro camadas, antes do início da pesquisa, durante e após o término da mesma. (média das repetições).	71
Tabela 6 - Diâmetro médio ponderado de agregados (DMP - mm) e densidade do solo (g cm^{-3}) em quatro camadas, antes do início da pesquisa, durante e após o término da mesma (média das repetições).	74
Tabela 7 - Produção de massa seca na parte aérea do resíduo cultural, taxa de cobertura do solo e produtividade de grãos nos quatro cultivos (média das repetições).	76
Tabela 8 - Erosividade das chuvas ($\text{MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$) e perdas de solo (Mg ha^{-1}) em cada tratamento e cultivo (na média das repetições), e média da série histórica de perdas em cada cultivo.	78

Tabela 9 - Precipitação (mm) e perdas de água (% da chuva) em cada tratamento (média das repetições), e média da série histórica de perdas para cada cultivo....	83
Tabela 10 - Teores de carbono orgânico (kg kg ⁻¹) do solo na camada de 0-2,5 cm de profundidade de um Cambissolo Húmico alumínico submetido a diferentes sistemas de cultivo e manejo (média de duas repetições).....	86
Tabela 11 - Teores de carbono orgânico nos sedimentos da erosão de um Cambissolo Húmico alumínico submetido a diferentes sistemas de cultivo e manejo. ...	88
Tabela 12 - Perdas totais de carbono orgânico nos sedimentos da erosão de um Cambissolo Húmico alumínico submetido a diferentes sistemas de cultivo e manejo do solo (média de duas repetições).....	89
Tabela 13 - Teores de P extraível do solo da camada de 0-2,5 cm de profundidade de um Cambissolo Húmico alumínico submetido a diferentes sistemas de cultivo e manejo (média de duas repetições).	91
Tabela 14 - Teores de P extraível nos sedimentos da erosão, em diferentes sistemas de cultivo e manejo do solo e ciclo cultural, num Cambissolo Húmico alumínico (média de duas repetições).	93
Tabela 15 - Teores de P solúvel na água da enxurrada, em diferentes sistemas de cultivo e manejo do solo e ciclo cultural num Cambissolo Húmico alumínico (média de duas repetições).	95
Tabela 16 - Perdas totais de P extraível nos sedimentos e na água da enxurrada de um Cambissolo Húmico alumínico submetido a diferentes sistemas de cultivo e manejo do solo (média de duas repetições).....	97
Tabela 17 - Teores de K trocável na camada de 0-2,5cm de um Cambissolo Húmico alumínico submetido a diferentes sistemas de cultivo e manejo do solo (média de duas repetições).	99

Tabela 18 - Teores de K extraível nos sedimentos da erosão, em diferentes sistemas de manejo e cultivo do solo e ciclo cultural num Cambissolo Húmico alumínico (média de duas repetições).	100
Tabela 19 - Teores de K solúvel na água da enxurrada, em diferentes sistemas de cultivo e manejo do solo e ciclo cultural num Cambissolo Húmico alumínico (média de duas repetições).	102
Tabela 20 - Perdas totais de K extraível nos sedimentos e solúvel na água da enxurrada de um Cambissolo Húmico alumínico submetido a diferentes sistemas de cultivo e manejo do solo (média de duas repetições).	104
Tabela 21 - Teores de Ca e Mg trocáveis do solo na camada de 0-2,5 cm de profundidade de um Cambissolo Húmico alumínico submetido a diferentes sistemas de cultivo e manejo (média de duas repetições).	106
Tabela 22 - Teores de Ca extraível nos sedimentos da erosão, em diferentes sistemas de cultivo e manejo do solo e ciclo cultural num Cambissolo Húmico alumínico (média de duas repetições).	108
Tabela 23 - Teores de Mg extraível nos sedimentos da erosão, em diferentes sistemas de cultivo e manejo do solo e ciclo cultural num Cambissolo Húmico alumínico (média de duas repetições).	109
Tabela 24 - Teores de Ca solúvel na água da enxurrada, em diferentes sistemas de cultivo e manejo do solo e ciclo cultural num Cambissolo Húmico alumínico (média de duas repetições).	111
Tabela 25 - Teores de Mg solúvel na água da enxurrada, em diferentes sistemas de cultivo e manejo do solo e ciclo cultural, num Cambissolo Húmico alumínico (média de duas repetições).	112

Tabela 26 - Perdas totais de Ca e Mg extraíveis nos sedimentos e solúveis na água da enxurrada de um Cambissolo Húmico alumínico submetido a diferentes sistemas de cultivo e manejo do solo (média de duas repetições).....114

Sumário

1 INTRODUÇÃO	33
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	36
2.1 EROSÃO HÍDRICA DO SOLO	36
2.2 EROSÃO HÍDRICA INFLUENCIADA PELO MANEJO DO SOLO	38
2.3 ATIVIDADE SUINÍCOLA EM SANTA CATARINA ...	39
2.4 EFEITOS DO DEJETO LÍQUIDO DE SUÍNOS NO SOLO	40
2.4.1 Quanto aos atributos do solo	41
2.4.2 Quanto à erosão hídrica	43
2.4.2.1 Nas perdas de solo e água	43
2.4.2.2 Nas perdas de nutrientes e carbono orgânico ...	43
3 HIPÓTESES	47
4 OBJETIVOS	47
4.1 GERAIS	47
4.2 ESPECÍFICOS	48
5 MATERIAL E MÉTODOS	48
5.1 LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL	48
Tabela 1 Propriedades físicas e químicas de um Cambissolo Húmico alumínico léptico de Lages (SC), determinadas no perfil do solo no local do experimento.	50
5.2 HISTÓRICO DE MANEJO E CULTIVO DO SOLO DO EXPERIMENTO	50
5.2.1 Espécies culturais – implantação e manejo	52
5.3 DEJETO LÍQUIDO DE SUÍNOS UTILIZADO: ORIGEM, CARACTERÍSTICAS, FORMA DE APLICAÇÃO E DOSE	53
5.4 UNIDADE EXPERIMENTAL	55
5.4.1 Caracterização física do solo antes do início da pesquisa	57

5.5 TRATAMENTOS	60
5.6 DETERMINAÇÃO DOS ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO	61
5.6.1 Porosidade, densidade e estabilidade de agregados do solo em água	61
5.7 DETERMINAÇÃO DA PRODUÇÃO DE MASSA SECA AÉREA E TAXA DE COBERTURA DO SOLO ...	62
5.8 QUANTIFICAÇÃO DO VOLUME DAS CHUVAS E CÁLCULO DA EROSIVIDADE	63
5.9 QUANTIFICAÇÃO DA EROSÃO	64
5.9.1 Perdas de solo e água.....	64
5.10 COLETA, PROCESSAMENTO E PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS DE SOLO E DE SEDIMENTOS E ÁGUA DA ENXURRADA PARA ANÁLISES QUÍMICAS	66
5.11 DETERMINAÇÃO DO CARBONO ORGÂNICO, P, K, Ca e Mg NO SOLO E NOS SEDIMENTOS DA EROSÃO E DE P, K, Ca e Mg NA ÁGUA DA ENXURRADA.....	67
5.12 CÁLCULO DAS PERDAS TOTAIS DE CO, P, K, Ca e Mg	68
5.13 OBTENÇÃO DAS PERDAS DE SOLO E ÁGUA – MÉDIA DA SÉRIE HISTÓRICA DE 20 ANOS.....	68
6 AJUSTE DE DADOS E ANÁLISE ESTATÍSTICA	69
7 RESULTADOS E DISCUSSÃO	69
7.1 POROSIDADE, ESTABILIDADE DE AGREGADOS EM ÁGUA E DENSIDADE DO SOLO	69
7.2 PRODUÇÃO DE MASSA SECA AÉREA E TAXA DE COBERTURA DO SOLO.....	75
7.3 PERDAS DE SOLO E ÁGUA	77
7.4 CARBONO ORGÂNICO (CO) NO SOLO E PERDAS POR EROSÃO	85
7.5 NUTRIENTES DE PLANTAS NO SOLO E PERDAS POR EROSÃO	90
7.5.1 FÓSFORO (P)	90

7.5.2 POTÁSSIO (K)	97
7.5.3 CÁLCIO (Ca) E MAGNÉSIO (Mg)	104
8. CONCLUSÕES	116
9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	118
10 ANEXOS	136

1 INTRODUÇÃO

A erosão hídrica pluvial é causada pela ação da água da chuva sobre o solo, compreendendo as fases básicas de desagregação, transporte e deposição; essas fases, muitas vezes, não são bem distintas uma das outras porque podem ocorrer concomitantemente (ELLISON, 1947). Os fatores envolvidos na erosão hídrica pluvial são: a chuva expressa por sua erosividade; o solo expresso por sua erodibilidade; o relevo expresso pelo grau e comprimento declive; a cobertura e manejo do solo; e as práticas conservacionistas de suporte (HUDSON, 1995). Dentre esses fatores, a cobertura e manejo é o mais importante (WISCHMEIER & SMITH, 1978).

A cobertura por resíduos culturais em contato direto com a superfície do solo dissipa a energia cinética das gotas de chuva, no ponto de impacto e, por isso, impede a desagregação do solo, além de constituir-se numa barreira à enxurrada reduzindo sua velocidade e capacidade de transporte de solo (WISCHMEIER & SMITH, 1978). Segundo o mesmo autor, a cobertura do solo pela copa das plantas, acima do nível do solo, dissipa apenas a energia de das gotas de chuva, sem influência sobre a energia do escoamento superficial. Portanto, esta forma de cobertura do solo é menos eficaz no controle da erosão do os resíduos culturais.

A erosão hídrica condiciona elevação do aumento do uso de corretivos e fertilizantes, dentre outras consequências, pois, além das partículas de solo em suspensão, o escoamento superficial transporta nutrientes de plantas e matéria orgânica, o que também compromete a qualidade das águas superficiais. Por meio do escoamento superficial, os sedimentos das áreas agrícolas podem chegar aos mananciais de água

superficiais, ocasionando poluição. Esse problema vem se agravando uma vez que a água e os sedimentos perdidos com o escoamento superficial são enriquecidos em nutrientes e, com isso, a qualidade das águas de superfície fica progressivamente mais comprometida. A contaminação das águas superficiais por nutrientes é considerada um dos principais impactos que a agricultura causa ao meio ambiente (PARRY, 1998). Questionamentos envolvendo a qualidade da água em áreas com intensiva aplicação de resíduo animal têm sido levantados em função do seu grande potencial poluidor.

A distribuição de dejetos de animais em excesso sobre a mesma área, de maneira continuada, associada à falta de práticas conservacionistas de solo e água capazes de controlar o escoamento superficial da água das chuvas, pode ocasionar, além da contaminação dos recursos hídricos, a degradação do solo nos locais de deposição da erosão. As áreas agrícolas têm sua capacidade produtiva comprometida, devido às perdas de nutrientes e de solo. O assoreamento originado em trechos de rios utilizados para navegação ou reservatórios, implica em grandes custos para retirada de material sólido.

Diante dos problemas causados pela erosão, e dada a importância da atividade suinícola e agrícola no estado de SC e à falta de informações sobre o assunto, fica evidente a necessidade de se conduzir pesquisas para solucionar esses problemas. Os resultados dessas pesquisas deverão auxiliar os produtores agrícolas e os técnicos a planejar sistemas de manejo e práticas conservacionistas de solo mais adequadas para o controle da erosão. Além disso, tais resultados deverão orientar o correto destino dos dejetos dos suínos, na forma de fertilizantes, para proteger o solo e os recursos

hídricos da contaminação, concorrendo, assim, para preservar a continuidade desta atividade agrícola de maneira ambientalmente correta.

Este trabalho teve por objetivo avaliar a influência do dejetos líquido de suínos no solo e nas perdas de solo, água, carbono orgânico e de nutrientes de plantas, associado à erosão hídrica, em diferentes sistemas de manejo do solo, em condição de chuva natural.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 EROSÃO HÍDRICA DO SOLO

A erosão hídrica pluvial é causada pela ação da água da chuva e pela enxurrada a ela associada sobre o solo, compreendendo as fases de desagregação, transporte e deposição; essas fases muitas vezes não são distintas uma das outras porque podem ocorrer concomitantemente (ELLISON, 1947). Segundo Bertoni & Lombardi Neto (2010), a erosão hídrica é a forma mais ativa do processo de degradação dos solos. Os fatores que afetam a erosão hídrica pluvial do solo são: clima, solo, topografia, cobertura e manejo e práticas conservacionistas, os quais se manifestam com intensidade variável (WISCHMEIER & SMITH, 1978). Dentre esses fatores, a cobertura e manejo é o mais importante (WISCHMEIER & SMITH, 1978). A erosão do solo, portanto, é um processo complexo que envolve vários fatores, de forma e magnitude variável, conforme o local de ocorrência (SILVA et al., 2003).

Segundo Meyer et al. (1975), o processo de erosão é resultante de duas formas, geralmente combinadas, a erosão entre sulcos e a erosão em sulcos, dependendo das condições superficiais em que ocorrem e da forma de atuação do agente erosivo. A erosão entre sulcos é o processo de desprendimento das partículas de solo pelo impacto das gotas da chuva e o transporte pelo escoamento de lamina rasa, com liberação de sedimentos para os pequenos sulcos ou canais (PEREIRA et al., 2003). Desta forma, a presença de resíduos vegetais no solo dissipa a energia da chuva e aumenta a rugosidade hidráulica, podendo eliminar a erosão entre sulcos (FOSTER, 1982).

A erosão em sulcos resulta de pequenas irregularidades na superfície do terreno, o que faz com que a enxurrada, concentrando-se em alguns pontos, atinja volume e velocidade suficientes para formar canais mais ou menos profundos (BERTONI & LOMBARDI NETO, 2005). Esta forma de erosão é função da baixa resistência do solo ao sulcamento e tem capacidade de desprender e transportar os sedimentos, sendo a maior parte do solo perdida nestes pequenos sulcos, em decorrência do escoamento superficial (PEREIRA et al., 2003). Esta é também a forma de erosão mais característica e por isso mais percebida em áreas submetidas ao processo erosivo.

Segundo Schick (2014), as perdas de solo ocasionadas pela erosão hídrica estão diretamente relacionadas com o manejo do solo e a rotação de culturas, sendo que a adoção de sistemas conservacionistas como a semeadura direta, reduz as perdas de solo em 68% em relação ao preparo convencional. A perda de nutrientes pela erosão hídrica é um dos principais fatores determinantes do empobrecimento dos solos e da redução da produtividade da maioria das culturas, com consequentes aumentos em seu custo de produção na contaminação ambiental (BERTOL et al., 2008). A cobertura do solo pelos resíduos culturais protege a superfície contra o impacto das gotas de chuva e o escoamento superficial, mantendo altas taxas de infiltração. Porém como o solo apresenta capacidade limitada de infiltração, grandes pluviosidades podem ocasionar perdas de água mesmo em semeadura direta (SCHICK, et al., 2000).

Compreender os fatores que integram o processo de erosão do solo e quantificar as perdas de solo é de grande importância, pois serve como base na elaboração

de medidas que visem maximizar o uso dos recursos hídricos disponíveis e evitar os efeitos negativos decorrentes da produção, transporte e deposição de sedimentos (PAIVA, 2000).

2.2 EROÇÃO HÍDRICA INFLUENCIADA PELO MANEJO DO SOLO

O manejo do solo afeta a cobertura do solo, na medida em que o preparo incorpora totalmente os resíduos culturais, como no preparo convencional, ou incorporam de forma parcial, como nos sistemas de cultivo mínimo e semeadura direta. Além disso, o manejo também atua sobre as condições físicas internas e de superfície, podendo alterar a rugosidade superficial do terreno, a porosidade e a estrutura da camada arável (COGO, 1981), com influência sobre a taxa de infiltração de água no solo e, por consequência, sobre as perdas por erosão (COGO, 1981; BERTOL et al., 1997), além da susceptibilidade do solo ao sulcamento (LARSON & GILL, 1973).

Sistemas de preparo do solo que mantêm a cobertura em contato direto com a superfície dissipam a energia cinética das gotas de chuva impedem a desagregação do solo, além de constituir-se numa barreira à enxurrada reduzindo sua velocidade e capacidade de transporte de solo (WISCHMEIER & SMITH, 1978).

No sistema de semeadura direta, a erosão hídrica do solo é diminuída principalmente devido à dissipação da energia cinética das gotas das chuvas e também à redução da velocidade e volume de enxurrada. Isto diminui a capacidade de desagregação e transporte pela chuva e enxurrada. (FOSTER, 1982). Como a desagregação é diminuída, o selamento superficial

também é reduzido, proporcionando a manutenção da infiltração de água no solo em nível relativamente elevado. O aumento da resistência à desagregação do solo superficial é, por sua vez, função do aumento da estabilidade dos agregados em água e da consolidação do solo (ELTZ et al., 1989). A redução da capacidade do fluxo em transportar materiais se deve a diminuição da sua energia, pela perda de velocidade, em função do aumento da tortuosidade do fluxo devido aos resíduos (BRAIDA, 1994). Ainda, os resíduos servem como obstáculo físico para o aprisionamento ou retenção das partículas desagregadas e em transporte, causando sua deposição.

A capacidade de estimar as perdas de solo por erosão hídrica em diferentes locais e situações de uso e manejo do solo, permite aos técnicos a seleção e recomendação de sistemas de manejo e de práticas de conservação que visem diminuir ou amenizar os problemas causados pela erosão do solo (CORRECHEL, 2003).

As pesquisas sobre erosão visam avaliar a influência dos diferentes fatores determinantes desse processo, permitindo a obtenção de estimativas de perdas de solo e a seleção de práticas de preparo que reduzam estas perdas ao máximo. Entretanto, a determinação das perdas de solo por erosão através de métodos diretos é cara e muito demorada. Estas são as principais causas do crescente interesse dos pesquisadores pelos modelos de predição da erosão, em conduzir pesquisas em campo (FOSTER et al., 1982).

2.3 ATIVIDADE SUINÍCOLA EM SANTA CATARINA

A demanda mundial por proteína de origem animal cresceu ao longo dos anos, destacando-se a carne

suína. Entre 1990 e 2012, ocorreu um aumento de 60% no rebanho brasileiro de suínos, passando de 19,7 milhões de cabeças para 32,3 milhões. Santa Catarina destaca-se como o maior produtor nacional, com um rebanho de 8,7 milhões de cabeças, o que representa 27% do rebanho nacional. Em Santa Catarina, a atividade suinícola concentra-se nas regiões oeste e meio oeste, em geral em propriedades de agricultura familiar, em regime de confinamento total dos animais, produzindo grandes quantidades de dejetos concentradamente (ANUÁRIO ESTÁTISTICO - SUINOCULTURA, 2011). As regiões citadas em SC caracterizam-se por grande número de propriedades rurais, em geral pequenas e com relevo acidentado.

2.4 EFEITOS DO DEJETO LÍQUIDO DE SUÍNOS NO SOLO

Em SC o dejetos proveniente da suinocultura é utilizado como fertilizante nas lavouras e, devido às características do estado, é difícil o correto uso do mesmo, podendo acarretar problemas ambientais, tais como, poluição e eutrofização da água.

De acordo com Perdomo et al. (2001), o resíduo proveniente da suinocultura é constituído por fezes, urina, restos de ração, água e outros materiais resultantes da limpeza das instalações e, por isso, é manejado na forma líquida e tratado como dejetos líquidos de suínos (DLS). Apresenta pH próximo de sete, com predomínio de N e P, e em menor quantidade, Ca, Mg, K e S, além de micronutrientes como Fe, Mn, Zn e Cu, também de forma desbalanceada.

De acordo com Oliveira (1995), cada suíno produz $2,55 \text{ m}^3 \text{ ano}^{-1}$ de dejetos, o que, baseado na produção catarinense, resulta em um total de 22,2 milhões de m^3

ano⁻¹ de dejetos, suficiente para adubar 444.000 ha de lavoura. A utilização do DLS como fonte de nutrientes na produção agrícola é uma prática que pode ser ambientalmente correta, desde que seguidos os critérios técnicos recomendados para sua aplicação no solo (CORRÊA et al., 2011). O uso de DLS resulta em menor custo de produção, como comprovaram Pandolfo e Ceretta (2008), em experimento com nove anos de duração, comparando diversas fontes de nutrientes e vários sistemas de preparo de solo.

2.4.1 Quanto aos atributos do solo

O uso de DLS apresenta efeitos químicos, físicos e biológicos no solo, influenciados pelo tipo e manejo do solo, quantidade, forma e época de aplicação do dejetos (CORRÊA et al., 2011), dentre outros fatores.

Os efeitos físicos benéficos são a redução da densidade e o aumento da macroporosidade e da estabilidade dos agregados, explicados principalmente pelo aumento do teor de matéria orgânica e atividade biológica no solo (BARILLI 2005; CORRÊA et al., 2011), resultando em benefícios indiretos no aumento da taxa de infiltração de água e na aeração do solo. Arruda et al. (2010) verificou que a aplicação de dejetos de suínos nas doses de 50 e 100 m³ ha⁻¹ ano⁻¹ reduziu em pequena magnitude a estabilidade de agregados do solo. Porém, foi indiferente na dose de 200 m³ ha⁻¹ ano⁻¹ em relação ao tratamento testemunha sem adubação, enquanto, os demais atributos físicos do solo e o teor de carbono orgânico não foram modificados pelos tratamentos. Isto indica que o dejetos de suínos, nas condições estudadas, manteve a qualidade física do solo. Andreola et al. (2000), trabalhando com aplicação de dejetos de aves em sistema de semeadura direta por cinco anos,

observaram os efeitos benéficos do uso do dejetos nas propriedades físicas do solo.

Quanto aos efeitos nas propriedades biológicas, Alves et al. (2008), em pesquisa com aplicação de doses variando de zero a $200 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de DLS na superfície do solo em sistema de semeadura direta de milho, verificaram que a maior dose do dejetos afetou negativamente o desenvolvimento de algumas ordens da macrofauna do solo. Por outro lado, os autores constataram que a adubação equilibrada com dejetos misturado ao adubo mineral beneficiou a macrofauna do solo, principalmente devido ao aumento da produção de massa vegetal.

Em relação às propriedades químicas do solo, os melhores efeitos do DLS ocorreram nas camadas mais superficiais, constatado por Gatiboni et al. (2008). Os autores trabalharam com aplicação sucessiva do dejetos durante quatro anos, com doses de até $40 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, constatando grande concentração de P na camada superficial até 15 cm de profundidade no solo, atingindo um valor oito vezes maior na dose de $40 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ em relação ao tratamento sem aplicação do dejetos, em acordo com outros trabalhos (BERWANGER et al., 2008; QUEIROZ et al., 2004).

Com o uso prolongado do DLS houve acúmulo de cobre e zinco (CORRÊA et al., 2011), e nitrato (CERETTA et al., 2005; AITA et al., 2008). Já para o dejetos de aves, ocorreu acúmulo de potássio, além dos demais nutrientes citados, como demonstrado por Andreola et al. (2000). Scherer et al. (2007), por outro lado, encontraram acúmulo de P nas camadas superficiais, mas não observaram efeito do dejetos de suínos sobre a acidez, cátions básicos, CTC e teor de matéria orgânica do solo, em acordo com o encontrado por Caovilla et al. (2010) que aplicaram o DLS via

irrigação localizada. Estas diferenças entre os resultados dos diversos trabalhos podem ser explicadas pelas variações na composição dos diversos DLS, diretamente relacionadas com a dieta dos animais (PERDOMO et al., 2001).

2.4.2 Quanto à erosão hídrica

2.4.2.1 Nas perdas de solo e água

De acordo com Bertol (2005), em trabalho com DLS aplicado na superfície do solo em semeadura direta, tendo posteriormente realizado chuva simulada com microsimulador, o escoamento superficial iniciou mais cedo nos tratamentos com uso de DLS. Segundo o autor, isto foi devido ao efeito hidrofóbico proporcionado pelo mesmo, proporcionando também maiores perdas de água, sendo observado este fenômeno também por Mori (2008), com o uso de dejetos líquidos de bovino. De acordo com estes autores e também com Haynes & Swift (1990), o efeito hidrofóbico do dejetos líquidos altera o comportamento da hidrologia de superfície do solo, diminuindo as condições adequadas para a rápida infiltração da água, devido à obstrução parcial dos macroporos, alterando a condutividade hidráulica do solo, afetando o comportamento do escoamento superficial.

2.4.2.2 Nas perdas de nutrientes e carbono orgânico

A perda total de nutrientes na água e nos sedimentos transportados do solo, em decorrência do escoamento superficial, depende do volume total de água e da quantidade total de sedimentos transportados,

além da concentração destes nutrientes na água e nos sedimentos (SCHICK et al., 2000b).

O fósforo é um nutriente que pode provocar a poluição do ambiente, mesmo com a elevada capacidade dos solos tropicais em adsorvê-lo em sítios específicos nos óxidos de ferro e de alumínio. Esta situação pode ocorrer quando da aplicação de DLS em doses excessivas e/ou continuadas, que pode resultar em grande acúmulo desse nutriente, principalmente na camada superficial do solo, como determinado por Scherer et al. (2007) em um Latossolo Vermelho após três anos de aplicação de doses de dejetos líquidos de suínos na superfície. As perdas por lixiviação de P às águas subterrâneas podem ocorrer quando aplicadas doses elevadas de DLS na superfície de solos com baixo teor de argila, como observado por Basso et al. (2005) em um Argissolo Espessarênico.

A maior preocupação ambiental existente é em relação aos macronutrientes N e P quanto a contaminação dos lençóis freáticos e águas superficiais, onde podem causar eutrofização. No sistema de semeadura direta, a volatilização de amônia tem sido apontada como um importante caminho de perda de N do dejetos líquido de suínos (GONZATTO et al., 2013). Contudo, alguns trabalhos demonstram que a incorporação do dejetos ao solo reduz, consideravelmente, esta perda (GIACOMINI & AITA, 2008; GIACOMINI et al., 2009).

Os micronutrientes Cu e Zn, também podem ser prejudiciais por se acumularem no solo e na fitomassa das culturas. Isso porque são utilizados em grande quantidade na ração de leitões. O Zn é adicionado às rações em até 2.400 mg kg^{-1} , com o objetivo de eliminar distúrbios gastrointestinais

provocados pelo desmame (MENTEN et al., 1992; CRISTANI, 1997).

A adição de material orgânico nos solos, na forma de esterco animal ou de compostos orgânicos, influencia positivamente as propriedades do solo, aumentando a capacidade de troca catiônica, a disponibilidade de nutrientes para as culturas, a complexação de elementos tóxicos e micronutrientes, aspectos fundamentais em solos tropicais altamente intemperizados e ácidos (SANTOS & CAMARGO, 1999). Também proporcionam a melhoria na estrutura, caracterizada pela diminuição de densidade do solo, aumento da porosidade e da taxa de infiltração de água, além de aumentar direta e indiretamente a capacidade do solo de armazenar água na faixa de tensão disponível para as plantas (KIEHL, 1985), características fundamentais para a capacidade produtiva dos solos tropicais e subtropicais. Porém, quando ocorre escoamento superficial decorrente da erosão do solo, a matéria orgânica é a primeira a ser perdida, devido a sua baixa densidade. O húmus retém os metais com diferentes forças, seguindo a ordem crescente de energia de ligação: cádmio, mercúrio, cálcio, boro, magnésio, manganês, zinco, cobalto, níquel, cobre e chumbo (KIEHL, 1985).

Os fatores que contribuem para a redução dos impactos negativos da aplicação continuada de DLS no solo, são o condicionamento ao emprego de sistemas de fermentação capaz de reduzir os riscos sanitários, o qual atua para a mineralização dos nutrientes, e a diminuição do potencial de organismos patogênicos. Além disso, o emprego de práticas agronômicas conservacionistas, destacando-se aquelas voltadas para a manutenção da qualidade do solo e das águas superficiais e subterrâneas, também influencia (SEGANFREDO, 2007).

3 HIPÓTESES

1. Os atributos físicos e químicos do solo e a erosão hídrica são influenciados pelo cultivo e manejo sob a aplicação de dejetos líquidos de suínos; em relação ao histórico de 20 anos que antecede a pesquisa, os atributos físicos e químicos são melhorados após a aplicação; a erosão segue a ordem decrescente: preparo convencional; preparo reduzido; rotação de preparos; semeadura direta; e, nestes, a erosão é menor do que no solo sem cultivo e sem dejetos.

2. Os teores de CO, P, K, Ca e Mg na enxurrada da erosão hídrica são influenciados pelo sistema de cultivo e manejo do solo sob a aplicação de dejetos líquidos de suínos; os teores seguem a ordem decrescente: semeadura direta; rotação de reparos; preparo reduzido; preparo convencional; e, nestes, os teores são maiores do que no solo sem cultivo e sem dejetos; quanto as perdas totais, a ordem é crescente: semeadura direta; rotação de reparos; preparo reduzido; preparo convencional; no preparo convencional com cultivo as perdas são maiores do que no solo sem cultivo.

4 OBJETIVOS

4.1 GERAIS

Avaliar os efeitos no solo e na erosão hídrica por chuva natural, decorrentes de diferentes sistemas de manejo e cultivo do solo sob a aplicação de dejetos líquidos de suínos, e de um solo sem cultivo e sem dejetos.

4.2 ESPECÍFICOS

1. Avaliar os efeitos sobre os principais atributos físicos e químicos do solo ocasionados por sistemas de manejo e cultivo do solo sob a aplicação de dejetos líquidos de suínos.
2. Quantificar as perdas totais de solo e água e os teores e as perdas totais CO, P, K, Ca e Mg, ocasionadas pela erosão hídrica em sistemas de manejo e cultivo do solo sob a aplicação de dejetos líquidos de suínos, e em solo sem cultivo e sem aplicação de dejetos.
3. Comparar os principais atributos físicos e químicos no solo e as perdas de solo e de água, em solo cultivado com diferentes sistemas de manejo sob a aplicação de dejetos líquidos de suínos, com a série histórica de 20 anos que antecedeu esta pesquisa.

5 MATERIAL E MÉTODOS

5.1 LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL

O experimento foi instalado e conduzido em condição de chuva natural, no espaço experimental de uso e conservação do solo, situado no campus do Centro de Ciências Agroveterinárias de Lages (SC), Universidade do estado de Santa Catarina (CAV/UEDESC), localizado entre 27° 49' latitude Sul e 50° 20' longitude Oeste, a 923 m de altitude, na região do Planalto Sul Catarinense. O clima é do tipo Cfb (temperado, úmido, sem estação seca, com verão fresco) segundo a classificação de Köppen (WREGE et al., 2011), com temperatura média anual de 15,7° C (WREGE et al., 2011) e precipitação média anual na região de 1.533 mm (SCHICK, 2014). A área

experimental possui declividade média de $0,102 \text{ m m}^{-1}$ e o solo no local do experimento é um Cambissolo Húmico alumínico léptico, argiloso, com substrato composto de siltitos e argilitos, cujas principais propriedades encontram-se na tabela 1.

Tabela 1 - Propriedades físicas e químicas de um Cambissolo Húmico aluminico léptico de Lages (SC), determinadas no perfil do solo no local do experimento.

Característica	Horizonte					
	Ap	A2	B/A	B	B/C	C
	Profundidade (cm)					
	0-20	20-34	34-53	53-75/82	75/82-105	105 +
	Propriedades físicas					
Argila (g 100 g ⁻¹)	40	40	42	46	52	32
Silte (g 100 g ⁻¹)	42	40	41	40	35	65
Areia fina (g 100 g ⁻¹)	11	10	10	9	8	2
Areia Grossa (g 100 g ⁻¹)	7	10	7	5	5	1
Densidade partículas (g cm ⁻³)	2,54	2,56	2,61	2,61	2,70	2,38
Densidade solo (g cm ⁻³)	1,30	1,35	1,33	1,28	1,27	1,19
Microporosidade (cm cm ⁻³)	0,38	0,42	0,40	0,42	0,48	-
Macroporosidade (cm cm ⁻³)	0,09	0,06	0,06	0,04	0,03	-
Tx. Const. de inf. (mm h ⁻¹)	6					
	Propriedades químicas					
C orgânico (kg kg ⁻¹)	0,04	0,03	0,02	0,01	0,01	-
N mineral (mg kg ⁻¹)	5,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0
P extraível (mg kg ⁻¹)	2,6	3,1	0,6	0,4	0,7	0,3
K trocável (mg kg ⁻¹)	96	80	49	61	42	57
Ca trocável (cmol _c kg ⁻¹)	2,63	3,05	0,68	0,45	0,72	0,29
Mg trocável (cmol _c kg ⁻¹)	2,17	2,33	0,78	0,68	0,70	0,31
Al trocável (cmol _c kg ⁻¹)	2,27	3,47	5,89	6,52	3,96	4,68
pH H ₂ O (1:1)	5,7	5,2	4,9	4,5	4,1	4,0

Fonte: Guadagnin (2003).

5.2 HISTÓRICO DE MANEJO E CULTIVO DO SOLO DO EXPERIMENTO

A área do experimento, inicialmente coberta por gramíneas nativas, foi utilizada com pastagem cultivada (gramíneas e leguminosas consorciadas) durante quatro anos, antes de ser destinada (outubro de 1988) ao

estudo da erosão hídrica em condições de chuva natural. O solo foi corrigido logo na implantação do experimento para elevar o pH do solo a 6, com 12 Mg ha^{-1} de calcário dolomítico, incorporado com duas arações e duas gradagens a 20 cm e 15 cm de profundidade, respectivamente, executadas transversalmente ao declive. Imediatamente fez-se uma aração e duas gradagens no sentido do declive e após, instalou-se as parcelas experimentais.

O estudo da erosão hídrica foi iniciado no experimento em 11/1988. Entre 11/1991 à 10/1992, houve um período de pousio no qual não houve cultivo nem avaliações. Após esse período a área experimental foi novamente preparada, para a reinstalação do experimento, tendo sido feita uma nova calagem, para elevar o pH do solo a 6, com $3,5 \text{ Mg ha}^{-1}$ de calcário dolomítico. A incorporação do calcário foi feita com uma aração e duas gradagens no sentido do declive. A área continuou sendo utilizada para o estudo da erosão hídrica com os mesmos tratamentos de preparo do solo, sendo as parcelas reinstaladas, nos mesmos lugares das anteriores, até fevereiro de 2012.

Em março de 2012, antes da semeadura da cultura de inverno (ervilhaca), foi realizada uma nova aplicação de calcário em todas as parcelas com cultivo. Nas parcelas testemunhas (solo sem cultivo) não foi realizada a calagem. As doses utilizadas foram específicas para cada parcela e foram determinadas mediante amostragens individualizadas de solo (profundidade de 0 - 10 cm), com posterior interpretação das análises de solo de forma a elevar o pH em água para 6. Nos tratamentos com preparo convencional e cultivo mínimo o calcário foi incorporado mediante a realização do preparo padrão destes tratamentos (uma aração + duas gradagens e uma escarificação + uma

gradagem, respectivamente), no tratamento semeadura direta foi utilizada uma gradagem.

Em outubro de 2012 deu-se início ao presente experimento, o qual teve dois anos de duração correspondendo a quatro cultivos agrícolas. Durante esse período, apenas a adubação orgânica com dejetos líquidos de suínos foi aplicada nas unidades experimentais.

5.2.1 Espécies culturais – implantação e manejo

O sistema de rotação de culturas visa alternar os cultivos de acordo com os períodos agrícolas e utilizar espécies distintas botanicamente. Esta prática traz alguns benefícios como a quebra do ciclo de um determinado patógeno em uma determinada área ou local, melhor aproveitamento e ciclagem dos nutrientes no solo e melhora dos atributos físicos do solo, tais como a porosidade do solo e estabilidade de agregados, podendo gerar maior retorno econômico.

As culturas utilizadas no local, desde 1993, seguem uma rotação cultural composta por: soja, nabo forrageiro, feijão-preto, ervilhaca, milho e aveia-preta, alternados de acordo com os períodos agrícolas. O presente trabalho compreendeu o período de dois anos (10/2012 à 11/2014), sendo as espécies culturais semeadas: milho, aveia-preta, soja e nabo forrageiro. As culturas de verão (milho e soja) foram semeadas com o auxílio de semeadora manual (“saraquá” ou “matraca”), com espaçamento de 0,8 metros entre linhas e 5 sementes por metro linear para o milho e, 0,5 metros entre linhas e 13 sementes por metro linear, para a soja. A semeadura foi realizada imediatamente após o preparo do solo em todos os tratamentos e em ambos os cultivos. Aveia-preta e nabo-forrageiro foram semeados

a lanço, nas doses de 120 Mg ha⁻¹ e 20 Mg ha⁻¹ de sementes, respectivamente.

O tratamento de rotação de preparos recebeu durante o período experimental quatro diferentes preparos de solo. Na cultura do milho o sistema adotado foi o plantio direto, seguido por plantio convencional, cultivo mínimo e uma gradagem leve, nas culturas de aveia-preta, soja e nabo forrageiro, respectivamente.

Nos tratamentos com revolvimento do solo, as culturas de inverno eram semeadas a lanço após a escarificação, no caso do cultivo mínimo e após uma aração e uma gradagem leve, no caso do plantio convencional, e em seguida eram completados os preparos com a gradagem leve para melhor contato das sementes ao solo, facilitando a germinação.

A semente de milho utilizada foi uma variedade de polinização aberta, crioula, sem potencial produtivo de expressão. Já a sementes de soja utilizada foi uma variedade comercial precoce – BRASMAX FORÇA - recomendada para as condições climáticas do planalto catarinense, respeitando a janela de semeadura.

A colheita das culturas de verão ocorreu de forma manual, sendo na cultura do milho retirado apenas as espigas. A parte aérea das plantas foi cortada em pequenas peças de resíduo, simulando uma colheita mecanizada e facilitando a decomposição e melhorando a cobertura do solo. Na cultura da soja as plantas foram cortadas próximo ao solo e, após serem trilhadas e os grãos separados, seus resíduos voltaram para a área de forma bem distribuída ao longo das parcelas.

5.3 DEJETO LÍQUIDO DE SUÍNOS UTILIZADO: ORIGEM, CARACTERÍSTICAS, FORMA DE APLICAÇÃO E DOSE

O dejetos líquido de suínos (DLS) utilizado para a realização deste trabalho foi obtido da criação localizada nas dependências da Universidade do Estado de Santa Catarina – CAV/UEDESC, Lages, SC. Neste, os animais eram criados em regime de confinamento total e os dejetos eram compostos por fezes, urina, água e alguns resíduos provenientes da limpeza do ambiente de confinamento e das instalações. O DLS ficava armazenado em um tanque de tratamento até o momento do seu uso, sendo daí retirado com auxílio de um distribuidor que fazia o seu transporte até a área experimental, para ser ali aplicado, manualmente. A área experimental situava-se a 400 metros dos tanques de tratamento do dejetos. O DLS era despejado em tonéis de 200 litros que ficava ao lado de cada parcela e para facilitar a distribuição foram utilizados regadores e baldes, com capacidade de 10 e 20 litros, respectivamente. A matéria seca adicionada pelo DLS nas parcelas foi determinada em estufa a 60 °C, cujo teor correspondeu a 2,8%. Em uma amostra da matéria seca foi realizada a digestão sulfúrica e nela se quantificou os nutrientes P, K, Ca e Mg conforme a metodologia de Tedesco et al. (1995), sendo que os teores encontrados foram de 1,14; 0,42; 7,8 e 2,6 %, respectivamente.

Cada unidade experimental recebeu 50 m³ ha⁻¹ de DLS imediatamente após a plena germinação de cada cultura, totalizando quatro aplicações durante a pesquisa. A escolha desta dose de DLS está de acordo com a Instrução Normativa 11 da Fundação do Meio Ambiente de Santa Catarina, de setembro de 2000 (FATMA, 2000), a qual permite a aplicação máxima de 50 m³ ha⁻¹ ano⁻¹.

Figura 1 - Operação de aplicação do dejetos líquido de suínos no início do cultivo de milho.



Fonte: o autor.

5.4 UNIDADE EXPERIMENTAL

O experimento foi conduzido em unidades experimentais, ou parcelas, com dimensões de 22,1 x 3,5 m (77,35 m²), delimitadas nas laterais e extremidade superior por chapas galvanizadas de 2 x 0,2 m, cravadas no solo em torno de 10 cm e, na extremidade inferior, por

uma calha coletora de enxurrada, conforme descrição em Cogo (1978), seguindo os critérios da Equação Universal de Perda de Solo – USLE (WISCHMEIER & SMITH, 1978).

Na extremidade inferior de cada parcela foi instalado um sistema coletor de enxurrada, composto de uma calha para receber o material erodido, conectada por um cano de PVC a um primeiro tanque, de sedimentação, com capacidade aproximada de 750 litros, situado 6 m abaixo da parcela. Este, por sua vez, era ligado, através de um divisor de enxurrada tipo “Geib”, a um segundo tanque, de armazenagem, também com capacidade aproximada de 750 litros. O divisor “Geib” permite a passagem de 1/9 da enxurrada do primeiro para o segundo tanque.

Figura 2 - Imagem de duas unidades experimentais.



Fonte: o autor.

5.4.1 Caracterização física do solo antes do início da pesquisa

Antes do início da pesquisa, foram coletadas amostras deformadas e indeformadas do solo, em cada parcela, nas profundidades de 0-2,5; 2,5-5,0; 5,0-10; 10-20 cm, para fins de caracterização das mesmas, de acordo com a metodologia proposta por Cogo et al.

1981. Os atributos físicos do solo, previamente ao início desta pesquisa, estão descritos na Tabela 2.

Tabela 2 - Caracterização física do solo antes da pesquisa, em quatro camadas do solo, em diferentes sistemas de cultivo e manejo: porosidade total (Pt), microporosidade (Mi), macroporosidade (Ma) densidade do solo (Ds), diâmetro médio ponderado (DMP).

Tratamentos	Camada	Pt	Mi	Ma	DS	DMP
		.....%.....			g/cm ³	mm
SD	1	50,8	37,5	13,3	1,25	5,84
PR		50,0	39,7	10,3	1,27	5,74
RP		48,4	33,1	15,3	1,31	4,65
PC		51,4	41,6	10,0	1,23	5,39
SC		45,3	35,8	9,6	1,39	2,81
SD	2	49,2	41,7	8,2	1,29	5,99
PR		47,2	36,6	10,6	1,34	5,21
RP		45,3	37,4	7,8	1,39	4,17
PC		48,4	39,5	8,9	1,31	5,45
SC		44,5	34,5	9,5	1,41	2,97
SD	3	47,6	41,7	6,0	1,33	5,30
PR		45,3	37,4	8,0	1,39	5,01
RP		43,3	36,8	6,5	1,44	4,00
PC		53,5	39,1	14,3	1,36	5,62
SC		44,5	27,1	17,4	1,41	2,85
SD	4	47,8	45,0	2,8	1,43	5,04
PR		49,6	43,3	6,3	1,36	5,24
RP		48,5	44,9	3,6	1,39	3,88
PC		47,7	43,5	3,7	1,41	4,86
SC		48,8	39,8	10,6	1,31	1,94

SD: semeadura direta; PR: preparo reduzido; RP: rotação de preparos; PC: preparo convencional; SC: solo sem cultivo. 1: 0-2,5 cm; 2: 2,5-5 cm; 3: 5-10 cm; 4: 10-20 cm. Fonte: o autor.

5.5 TRATAMENTOS

Os cinco tratamentos de preparo do solo, com duas repetições cada, foram conduzidos no sentido longitudinal ao declive conforme a filosofia de obtenção dos dados para a USLE, e foram os seguintes:

1. Tratamentos com cultivo do solo.

a) Preparo do solo com uma aração+duas gradagens, por ocasião da implantação das culturas, denominado preparo convencional (PC).

b) Preparo do solo com uma escarificação+uma gradagem, por ocasião da implantação das culturas, denominado preparo reduzido (PR).

c) Preparo do solo com a seguinte rotação ao longo dos ciclos de cultivo: semeadura direta; uma aração+duas gradagens; uma escarificação+uma gradagem e uma gradagem leve, por ocasião da implantação das culturas, denominado rotação de preparos (RP).

d) Semeadura direta: o solo não recebeu preparo algum, denominado semeadura direta (SC). As culturas foram semeadas manualmente, ou com o uso de “saraquá” ou “matraca”, ou por meio de semeadura manual, dependendo do tipo de semente. No experimento, utilizou-se o saraquá nos cultivos de verão e semeadura a lanço nas culturas invernais.

2. Tratamento sem cultivo do solo.

a) Preparo do solo com uma aração+duas gradagens, duas vezes ao ano, na mesma época de implantação das culturas nos tratamentos com cultivo; o solo era mantido sem cultivo e com a superfície desprovida de vegetação e de crosta superficial, por período integral, constituindo-se na testemunha (parcela padrão da USLE), denominado solo sem cultivo (SC).

As operações mecânicas de preparo do solo foram realizadas da seguinte forma: aração, por meio de

arado reversível com três discos no sentido paralelo ao declive, regulado para profundidade de operação de 20 cm; escarificação, por meio de escarificador, com treze hastes, distanciadas 25 cm uma das outras, profundidade de operação de 15 cm do solo; gradagem, realizada por meio de grade tipo Tandem, com 32 discos, regulada para operar a 12 cm de profundidade do solo.

5.6 DETERMINAÇÃO DOS ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO

5.6.1 Porosidade, densidade e estabilidade de agregados do solo em água

Para as análises físicas do solo foram realizadas coletas no início do experimento e imediatamente após o término de cada cultivo, nas profundidades de 0-2,5; 2,5-5; 5-10; 10-20 cm. As amostras foram divididas em dois grupos, com estrutura alterada e preservada.

As amostras com estrutura preservada foram coletadas utilizando anéis metálicos com bordas cortantes, com volume de 46,76 cm³ (4 cm de diâmetro e 2,5 cm de altura), nas duas primeiras camadas, e volume de 97,63 cm³ (4 cm de diâmetro e 5 cm de altura), nas camadas inferiores. A escolha de separar as duas primeiras camadas em 2,5 cm cada se deve ao fato de que se tratando de erosão hídrica do solo, seus efeitos são mais pronunciados nos primeiros centímetros de solo, sendo que muitas vezes esses efeitos não se confirmam nas demais camadas.

O volume total de poros foi calculado pela relação entre densidade do solo e densidade de partículas, conforme está descrito em Embrapa (1997):

$$Pt = 1 - (Ds / Dp), \text{ onde:} \quad (1)$$

Pt = porosidade total ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$);
Ds = densidade do solo (g cm^{-3}); e
Dp = densidade de partículas (g cm^{-3}).

O volume de microporos foi determinado por meio de retenção de água após saturação da amostra do solo e submetida à tensão de 6 kPa em mesa de tensão de areia, conforme descrito em Embrapa (1997). O volume de macroporos foi obtido pela diferença entre o volume total de poros e o de microporos. A densidade foi determinada pela relação massa/volume, em base seca a 105 °C, determinada pelo método do anel volumétrico conforme Blake & Hartge (1986).

Amostras com estrutura alterada foram secas ao ar e peneiradas. Os agregados de solo que passavam na peneira de 8 mm e ficavam retidos na peneira de 4,75 mm eram separados para as determinações da estabilidade de agregados em água (aproximadamente 100 gramas). Este teste foi determinado pela agitação vertical de agregados em água nas peneiras de 4,76, 2, 1 e 0,25 mm, segundo Yoder (1936), e os resultados foram expressos em diâmetro médio ponderado segundo Kemper & Chepil (1965).

5.7 DETERMINAÇÃO DA PRODUÇÃO DE MASSA SECA AÉREA E TAXA DE COBERTURA DO SOLO

Após o término de cada cultivo em cada uma das unidades experimentais uma amostra dos resíduos culturais persistentes no solo era coletada em uma área de 0,24 cm^2 (0,4 cm x 0,6 cm), para quantificação da massa seca do resíduo. As amostras foram colocadas em sacos de papel e secas em estufa de ventilação forçada por 72 horas a 60° C, isentas de torrões e partículas de solo e, finalmente pesadas, sendo os resultados expressos em Mg ha^{-1} .

A determinação da taxa de cobertura do solo pelos resíduos culturais remanescentes foi realizada imediatamente após o preparo do solo em cada cultivo (após a semeadura no tratamento plantio direta). Para tanto, utilizou-se o método da trena, descrito por Hartwing & Laflen (1978), com duas repetições por parcela, sendo os resultados expressos em porcentagem.

5.8 QUANTIFICAÇÃO DO VOLUME DAS CHUVAS E CÁLCULO DA EROSIVIDADE

O município de Lages, SC, apresenta precipitação média anual de 1.533 mm, relativamente bem distribuídas ao longo do ano, conforme o histórico de registros entre 1993 e 2012 (SCHICK, 2014). Segundo este autor, os maiores registros de chuvas erosivas são encontrados nos meses que compreendem as estações primavera-verão, destacando os meses de outubro, janeiro e fevereiro. Quanto ao risco de erosão hídrica, os meses de setembro a novembro são particularmente problemáticos na região. Nesse período, é feita a semeadura das culturas de verão, muitas ainda implantadas em sistema convencional de manejo do solo com preparo mecânico, ou, no caso do sistema de semeadura direta, sem a utilização de práticas conservacionistas complementares, como os terraços, por exemplo. O período de menor precipitação, de março a agosto, apresenta, na média mensal, precipitações em torno dos 100 mm, indicando ausência de períodos de déficit hídrico.

O volume das chuvas foi monitorado por meio de leituras diárias de um pluviômetro, instalado a 600 metros da área experimental. Para a determinação do fator de erosividade (EI_{30}) das chuvas foram usados

pluviogramas diários modelo IH-01-01, com amplitude de registro de 10 mm de precipitação e de 24 horas de duração, com unidades de 0,2 mm, para o volume, e de 10 minutos, para o tempo. O critério adotado para definição de chuva erosiva foi o de Wischmeier & Smith (1958), modificado por Cabeda (1976), o qual considera como erosiva a chuva com volume igual ou superior a 10 mm e, ainda, aquela com volume igual ou superior a 6 mm num intervalo de tempo menor ou igual a 15 minutos. Por este critério, chuvas separadas por intervalos de seis horas sem precipitação ou com precipitações menores de 1 mm nesse período, são consideradas chuvas individuais.

Nos pluviogramas diários, as chuvas erosivas foram cotadas manualmente em segmentos de intensidade uniforme, e registradas em planilhas. Posteriormente, utilizou-se o programa “Chuveros”, desenvolvido pelo prof. Elemar Antonino Cassol (UFRGS), para calcular a energia cinética segundo Wischmeier & Smith (1978), Brown & Foster (1987) e Wagner & Massambani (1988). No referido programa, as unidades das equações de energia cinética foram convertidas para o Sistema Internacional de Unidades, de acordo com Foster et al. (1981). Tanto o pluviógrafo como o pluviômetro estavam instalados na estação meteorológica no Campus do CAV/UEDESC.

5.9 QUANTIFICAÇÃO DA EROSÃO

5.9.1 Perdas de solo e água

Após a ocorrência de cada evento de chuva erosiva ou de chuvas acumuladas, os sedimentos eram retirados de dentro dos tanques (quando a sua quantidade assim permitia) e pesados. Eram coletadas

amostras de sedimentos dos tanques em potes de alumínio com capacidade de aproximadamente 300 g, as quais eram secas em estufa, com temperatura de 55 – 60° C, com o objetivo de corrigir a massa para a base de solo seco. Após, eram registradas as alturas de enxurrada dentro dos mesmos e, em seguida, a enxurrada era homogeneizada e, dela, coletadas amostras. O produto da altura de enxurrada dentro dos tanques pela área dos tanques forneceu o volume de enxurrada. As amostras de enxurrada foram coletadas utilizando-se frascos de vidro numerados, com capacidade de 300 mL, em número de três por tanque. Nestas amostras se determinava a concentração de sedimentos na enxurrada e a massa de sedimentos existentes na suspensão. Para isso, no laboratório, eram adicionadas de 3 a 5 gotas de ácido clorídrico (2,5 N) em cada frasco contendo a enxurrada, com a finalidade de precipitar os sedimentos em suspensão. O sobrenadante era retirado de dentro dos frascos 24 a 48 horas após, sifonando-o com uma mangueira de borracha, deixando-se uma lâmina de cerca de 1 cm de água sobre os sedimentos. Os frascos eram então levados à estufa com circulação de ar, na temperatura de 55 – 60° C, até que atingissem massa constante.

A partir das amostras de sedimentos secos nos frascos de vidro, era calculada a massa de solo contida em suspensão nos tanques, relacionando-se com o volume de enxurrada dos tanques. Estes valores foram adicionados aos de massa de solo seco e volume de água contida nos sedimentos, permitindo obter as perdas totais de solo ocorridas em cada chuva. Este procedimento para a coleta e processamento das amostras de suspensão para os cálculos das perdas de solo e água seguiu a metodologia sugerida por Cogo (1978).

5.10 COLETA, PROCESSAMENTO E PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS DE SOLO E DE SEDIMENTOS E ÁGUA DA ENXURRADA PARA ANÁLISES QUÍMICAS

As amostras do solo foram realizadas nas camadas de 0 a 2,5; 2,5 a 5; 5 a 10 e 10 a 20 cm de profundidade, logo após o término de cada cultivo, antes do preparo primário do solo para a próxima safra, em um ponto por parcela, localizado no seu terço inferior. No cultivo do milho, as amostras de sedimentos foram agrupadas e homogeneizadas, perfazendo uma única amostra para cada parcela, durante o cultivo. O mesmo procedimento fez-se para as amostras de água da enxurrada. Nos cultivos seguintes (aveia-preta, soja e nabo forrageiro) as referidas amostras foram individualizadas, secas e armazenadas separadamente, por coleta. As coletas foram realizadas nas datas constantes da tabela 3. Após o término de cada cultivo, as amostras individuais foram agrupadas, para cada parcela, em intervalos de datas de ocorrência das coletas. Por exemplo: para a veia, as amostras de enxurrada coletadas nas datas de 18/06/2013, 25/06/2013 e 03/07/2013 foram misturadas, por parcela, perfazendo a amostra 1. O mesmo procedimento foi realizado para as demais amostras da tabela 3.

Tabela 3 - Data correspondente à cada coleta de enxurrada, por cultivo, cujas amostras destinaram-se às análises químicas.

Cultivo			
Milho			
Amostra 1			
12/11/2012 à 20/04/2013			
Aveia preta			
Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 4
18/06/2013	24/07/2013	26/08/2013	02/10/2013
25/06/2013	06/08/2013	18/09/2013	03/10/2013
03/07/2013	12/08/2013	24/09/2013	28/10/2013
Soja			
20/11/2013	07/01/2014	18/02/2014	02/04/2014
05/12/2013	14/01/2014	07/02/2014	09/04/2014
06/12/2013	17/01/2014	23/03/2014	15/04/2014
11/12/2013	27/01/2014		
Nabo forrageiro			
20/05/2014	11/06/2014	27/07/2014	10/09/2014
22/05/2014	29/06/2014	19/08/2014	25/09/2014
04/06/2014	14/07/2014	04/09/2014	10/10/2014

Fonte: o autor.

5.11 DETERMINAÇÃO DO CARBONO ORGÂNICO, P, K, Ca e Mg NO SOLO E NOS SEDIMENTOS DA EROÇÃO E DE P, K, Ca e Mg NA ÁGUA DA ENXURRADA

O CO no solo e nos sedimentos da erosão foi determinado pelo método de Walkley & Black modificado por Tedesco et al. (1995), por oxidação com $K_2Cr_2O_7$ $1,25 \text{ mol L}^{-1}$ em meio ácido de H_2SO_4 concentrado e titulação com $FeSO_4$ $0,25 \text{ mol L}^{-1}$.

Os teores de P disponível e K^+ trocável no solo e nos sedimentos da erosão foram extraídos pelo método do extrator duplo ácido (Mehlich 1) com solução ácida de HCl $0,05 \text{ mol L}^{-1}$ e H_2SO_4 $0,0125 \text{ mol L}^{-1}$. O P foi determinado

com leitura da absorbância em espectrofotômetro UV-VIS e o K^+ por fotometria de chama; o Ca^{2+} e Mg^{2+} foram extraídos com solução salina neutra de KCl 1 mol L^{-1} e determinados por espectrofotometria de absorção atômica. Os mesmos elementos foram determinados na água da enxurrada, baseados na técnica de espectrometria de emissão ótica por plasma induzido (ICP). As determinações de P, K, Ca^{2+} e Mg^{2+} seguiram as metodologias descritas em Tedesco et al. (1995).

5.12 CÁLCULO DAS PERDAS TOTAIS DE CO, P, K, Ca e Mg

Para a determinação das perdas totais de CO e dos nutrientes P, K, Ca e Mg, multiplicou-se os teores médios encontrados nos sedimentos da erosão pelas quantidades totais de solo perdido, correspondentes de cada parcela em cada cultivo. O mesmo procedimento foi realizado para a determinação das perdas totais dos nutrientes na água da enxurrada, onde se multiplicou os teores nela contidos pelas quantidades totais de água perdida, correspondente a cada parcela, em cada cultivo.

5.13 OBTENÇÃO DAS PERDAS DE SOLO E ÁGUA – MÉDIA DA SÉRIE HISTÓRICA DE 20 ANOS

A média da série histórica das perdas de solo e água para cada cultura, apresentados para comparar os resultados da presente pesquisa, foi obtida de Schick (2014). Para isso, considerou-se apenas o número de vezes em que cada cultura foi cultivada na rotação e a partir desses cultivos, obtiveram-se as médias. Na tabela 4 está descrito o número de vezes que cada cultura foi semeada nas unidades experimentais, no período de vinte anos.

Tabela 4 - Número de vezes que cada cultura foi cultivada na área experimental, no período de 20 anos da série histórica.

Culturas	N° de vezes
Milho	6
Aveia preta	5
Soja	7
Nabo Forrageiro	4

Fonte: Schick (2014).

6 AJUSTE DE DADOS E ANÁLISE ESTATÍSTICA

As unidades experimentais foram distribuídas de maneira inteiramente casualizada na área. Os resultados estatísticos não estão aqui apresentados devido à variação entre os tratamentos ter sido alta, principalmente nos sistemas conservacionistas, quando comparados aos sistemas convencionais. Assim, optou-se por apresentar apenas o coeficiente de variação.

7 RESULTADOS E DISCUSSÃO

7.1 POROSIDADE, ESTABILIDADE DE AGREGADOS EM ÁGUA E DENSIDADE DO SOLO

Os dados da macroporosidade, microporosidade e porosidade total do solo em quatro camadas são apresentados na tabela 5. Na camada 2,5-5 cm, a macroporosidade do solo aumentou entre o início e o final do experimento, para todos os tratamentos, exceto no SC, o que também ocorreu para a porosidade total. Isto pode ter ocorrido pela ação das raízes que se

concentraram nesta camada, melhorando a estrutura do solo, como também relatado por Silva et al. (2006) que atribuíram o efeito à cobertura do solo na semeadura direta.

Houve diferença nos valores absolutos, entre tratamentos, da macroporosidade, microporosidade e porosidade total do solo nas camadas 0-2,5 cm, 5-10 cm e 10-20 cm (tabela 9), em acordo com Arruda et al. (2010). Isto se justifica pela baixa quantidade de matéria orgânica contida no DLS aplicado, o qual continha apenas 2,8% de matéria seca. A matéria orgânica adicionada pelo dejetos melhorou a qualidade física do solo, como relatado por Seganfredo (1998) em trabalho realizado com doses de DLS calculado para suprir entre 100 e 150 kg ha⁻¹ de N. Os autores verificaram que o DLS aumentou a macroporosidade e porosidade do solo, mas esse efeito manifestou-se somente após o terceiro ano de aplicação. Como a presente pesquisa foi conduzida por dois anos, possivelmente não houve tempo suficiente para promover maiores alterações sobre as propriedades físicas do solo.

Tabela 5 - Macroporosidade, microporosidade e porosidade total do solo em quatro camadas, antes do início da pesquisa, durante e após o término da mesma. (média das repetições).

Tratamento	Macroporos		Microporos		Porosidade total	
	Antes	Após	Antes	Após	Antes	Após
	.....0 – 2,5					
SD	13,3	15,4	37,5	41,7	50,8	57,1
PR	10,3	12,5	39,7	43,0	50,0	55,5
RP	15,3	12,9	33,1	41,4	48,4	54,3
PC	10,0	16,0	41,6	35,5	51,4	51,6
SC	9,6	8,4	35,8	40,3	45,3	48,4
CV (%)	26,1	26,6	22,2	28,3	21,0	22,3
	.....2,5 – 5					
SD	8,2	15,6	41,7	39,5	49,2	55,1
PR	10,6	12,4	36,6	41,9	47,2	54,3
RP	7,8	10,3	37,4	42,8	45,3	53,1
PC	8,9	7,8	39,5	44,1	48,4	51,9
SC	9,5	6,0	34,5	41,8	44,5	47,0
CV (%)	27,1	25,4	17,2	27,2	24,5	22,5
	.....5 – 10					
SD	6,0	17,6	41,7	30,1	47,6	47,6
PR	8,0	17,8	37,4	31,0	45,3	48,8
RP	6,5	20,0	36,8	28,7	43,3	48,8
PC	14,3	16,2	39,1	27,1	53,5	43,7
SC	17,4	9,1	27,1	28,8	44,5	37,0
CV (%)	22,3	28,0	23,0	29,1	29,1	22,3
	.....10 – 20					
SD	2,8	20,0	45,0	28,0	47,8	48,0
PR	6,3	16,2	43,3	30,2	49,6	46,4
RP	3,6	15,5	44,9	30,1	48,5	45,6
PC	3,7	10,4	43,5	34,5	47,7	44,1
SC	10,6	4,3	39,8	28,8	48,8	33,1
CV (%)	19,1	27,2	21,1	19,0	20,7	22,2

SD: semeadura direta; PR: preparo reduzido; RP: rotação de preparos; PC: preparo convencional; SC: solo sem cultivo; CV: coeficiente de variação. Fonte: o autor.

Nos quatro tratamentos que receberam aplicação de DLS houve aumento do diâmetro médio ponderado dos agregados (DMP) nas camadas 0-2,5 e 2,5-5 cm (tabela 6), sem efeito nas demais camadas e entre

tratamentos, apesar da redução do valor numérico ocorrido na camada 5-10 cm. A pequena variação do DMP nas camadas do solo, também foi observada por Rauber (2011), o qual trabalhou com Nitossolo Vermelho que recebeu dejetos de suínos e de aves durante sete anos, encontrando efeito variado da aplicação do dejetos sobre o DMP até a profundidade de 20 cm do solo, como ocorreu na presente pesquisa. Na média das camadas, os valores de DMP podem ser considerados altos, como é comum em solos de textura argilosa, conforme dados obtidos por Barilli (2005). Este autor trabalhou com aplicação de DLS em Latossolo de textura argilosa.

Na camada de 2,5-5 cm houve redução nos valores absolutos da densidade do solo em todos os tratamentos, em todos os tratamentos, entre o início e o final do experimento (tabela 8). Este fato é explicado em parte pelo efeito do DLS, porém, no tratamento sem aplicação do dejetos também houve redução, indicando que outros fatores atuaram. De acordo com Embrapa (2004), citado por Rauber (2011), as raízes de gramíneas, por serem fasciculadas, atuam na agregação do solo por ação mecânica e liberam exsudatos com ação cimentante; também, o teor de CO confere elevada estabilidade aos agregados, reduzindo a densidade do solo. Nas demais camadas não houve efeito dos tratamentos sobre a densidade do solo, em acordo com Arruda (2007), em trabalho com aplicação de DLS em semeadura direta, sobre Latossolo, e com Seganfredo (1998), em solo com aplicações de dejetos, com tempo inferior a três anos. Isto pode ser explicado pelo maior desenvolvimento radicular ocorrido na camada de 2,5-5 cm, ficando as demais camadas com poucas raízes e sem maiores efeitos sobre a densidade do solo, além do curto espaço de tempo com aplicação do dejetos.

Verifica-se, de maneira geral, que o DLS afetou positivamente as propriedades físicas do solo, com tendência de aumento da macroporosidade, e redução da densidade do solo, bem como de manter em níveis elevados a estabilidade de agregados, em acordo com Andreola (2000) que aplicou doses de dejetos com diferentes tipos de cobertura em solo de textura argilosa.

Tabela 6 - Diâmetro médio ponderado de agregados (DMP - mm) e densidade do solo (g cm⁻³) em quatro camadas, antes do início da pesquisa, durante e após o término da mesma (média das repetições).

Tratamentos	DMP (mm)		Densidade do solo (g cm ⁻³)	
	Antes	Após	Antes	Após
	.....mm.....		.....g cm ⁻³	
	.....0 – 2,5 cm.....			
SD	5,64	5,71	1,15	1,09
PR	5,39	5,65	1,13	1,13
RP	5,54	5,76	1,17	1,16
PC	4,65	4,84	1,21	1,23
SC	2,81	2,29	1,29	1,31
CV (%)	16,2	15,9	17,3	20,5
	.....2,5 – 5 cm.....			
SD	5,19	5,54	1,19	1,14
PR	5,45	5,56	1,21	1,16
RP	5,21	5,57	1,24	1,19
PC	4,17	4,81	1,29	1,22
SS	2,97	2,04	1,33	1,31
CV (%)	15,4	15,4	17,2	16,9
	.....5 – 10 cm.....			
SD	5,30	5,1	1,29	1,33
PR	5,62	5,34	1,26	1,30
RP	5,21	5,09	1,29	1,30
PC	4,20	4,02	1,39	1,43
SC	2,85	1,92	1,41	1,39
CV (%)	20,9	15,0	18,1	16,7
	.....10 – 20 cm.....			
SD	5,04	5,21	1,31	1,32
PR	4,86	4,75	1,33	1,36
RP	5,24	5,15	1,36	1,38
PC	3,88	4,22	1,39	1,40
SC	1,94	1,98	1,35	1,42
CV (%)	12,9	12,3	10,2	17,3

SD: semeadura direta; PR: preparo reduzido; RP: rotação de preparos; PC: preparo convencional; SC: solo sem cultivo; CV: coeficiente de variação. Fonte: o autor.

7.2 PRODUÇÃO DE MASSA SECA AÉREA E TAXA DE COBERTURA DO SOLO

Os valores referentes à produção de massa seca da parte aérea e taxa de cobertura estão apresentados na tabela 7. De forma geral, à medida que aumentou a intensidade do preparo, diminuíram a massa seca e a cobertura do solo (Tabela 7). O tratamento SD se mostrou o melhor em relação aos demais na produção de massa seca e na taxa de cobertura do solo e na produção de grãos nas culturas de milho e soja. Esse comportamento pode ser atribuído à mínima mobilização do solo, dada à ausência de preparo, o que melhorou as propriedades físicas de superfície e subsuperfície, conforme discutido anteriormente. Estes benefícios concorreram para diminuir o arraste de nutrientes, aumentar a infiltração de água no solo e diminuir as perdas de água (Tabela 9) e solo (Tabela 8).

Tabela 7 - Produção de massa seca na parte aérea do resíduo cultural, taxa de cobertura do solo e produtividade de grãos nos quatro cultivos (média das repetições).

Tratamento	Massa seca Kg ha ⁻¹	Taxa cobertura %
Milho		
PD	10.200	84
PR	9.210	79
RP	8.720	70
PC	7.240	59
CV (%)	10,1	12,9
Aveia		
PD	7.010	95
PR	6.850	82
RP	6.100	76
PC	5.600	61
CV (%)	13,3	8,1
Soja		
PD	3.240	89
PR	3.120	78
RP	3.080	76
PC	2.170	23
CV (%)	8,4	5,3
Nabo-forrageiro		
PD	5.740	91
PR	4.180	84
RP	4.090	70
PC	3.100	46
CV(%)	15,5	7,7

PC: Preparo convencional; PR: Preparo reduzido SD: Semeadura direta; CV: Coeficiente de variação. Fonte: Autor.

A quantidade de massa seca de resíduo de milho produzida foi de acordo com aquela encontrada por

Fabbris et al. (2014), os quais obtiveram valores entre 7 e 10 Mg ha⁻¹ de massa seca de resíduo de milho, adubado com DLS. A quantidade de massa seca de resíduo de aveia produzida está de acordo com aquela encontrada por Aita et al. (2006), Assmann et al. (2009), os quais obtiveram valores entre 5 e 8 Mg ha⁻¹, também sob adubação com dejetos líquidos de suínos. A quantidade de massa seca de resíduo de soja apresentou a menor variação entre os tratamentos (Tabela 7). Isto pode ser explicado devido ao fato de que a colheita da soja foi realizada de forma manual, sendo cada planta cortada rente ao solo, trilhada e seus resíduos voltados para parcela, de forma homogênea. Porém, os resultados encontrados concordam com Cogo et al. (2003), os quais obtiveram valores entre 2 e 5 Mg ha⁻¹, sob níveis de fertilidade. O nabo-forrageiro caracteriza-se pelo crescimento inicial rápido, e aos 60 dias após a emergência promove a cobertura de 70% do solo (Calegari, 1990). A quantidade de massa seca de resíduo nos tratamentos variou de 3 a 6 Mg ha⁻¹, aproximadamente, concordando com Crusciol et al. (2005), que estudou a persistência do resíduo de nabo-forrageiro sob sistemas de cultivo.

7.3 PERDAS DE SOLO E ÁGUA

As perdas de solo e água são apresentadas nas tabelas 8 e 9, agrupadas de acordo com os cultivos agrícolas, as quais variaram amplamente entre os cultivos em todos os tratamentos. Tal fato era em parte esperado, dadas às variações no padrão de precipitação entre um cultivo e outro, no intervalo de ocorrência entre chuvas, no teor de água antecedente do solo, no tipo e ciclo das culturas, etc. Comportamento semelhante foi

observado por diversos autores (COGO et al., 2003; BEUTLER et al., 2003; SILVA et al., 2009; SCHICK, 2014), sendo o principal motivo pelo qual Wischmeier & Smith (1978) recomendaram a condução de experimentos dessa natureza por longo tempo, de forma a obter dados médios relativos ao período de investigação.

Tabela 8 - Erosividade das chuvas ($\text{MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$) e perdas de solo (Mg ha^{-1}) em cada tratamento e cultivo (na média das repetições), e média da série histórica de perdas em cada cultivo.

Cultura	Erosividade (EI_{30}) $\text{MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$	Perdas de solo Mg ha^{-1}				
		SD	PR	RP	PC	SC
Milho	3.042	0,17	0,36	0,23	0,85	56,91
Histórico ¹	3.514	0,41	1,17	-	2,47	60,88
Aveia	1.766	0,43	0,73	1,24	1,91	42,87
Histórico ¹	1.952	0,53	0,94	-	1,85	27,35
Soja	4.224	0,11	0,23	0,54	1,44	91,65
Histórico ¹	2.603	0,19	0,55	-	1,94	40,11
Nabo	2.741	0,53	0,94	0,68	2,26	60,60
Histórico ¹	2.346	1,05	1,76	-	4,09	45,59

SD: semeadura direta; PR: preparo reduzido; PR: rotação e preparos; PC: preparo convencional; SC: solo sem cultivo. Fonte: o autor. ¹série histórica obtida de Schick (2014). (-): dado inexistente.

O tratamento solo sem cultivo (SC) e sem aplicação de dejetos líquidos de suínos (DLS) apresentou as maiores perdas de solo, com média anual de $130,21 \text{ Mg ha}^{-1}$ (Tabela 8). Esse comportamento também era esperado, pois o manejo nesse tratamento foi realizado de modo a potencializar a erosão hídrica, como preconizado para a parcela padrão da USLE (WISCHMEIER & SMITH, 1978). O impacto direto das gotas de chuva sobre o solo descoberto provocou a

desagregação das suas partículas, obstruindo os poros e formando um selo superficial de baixa permeabilidade, que dificultou a infiltração de água, aumentou o escoamento superficial e intensificou a erosão do solo, conforme Duley (1939). O efeito integrado das gotas de chuva e do escoamento superficial da água atuou como fonte de energia (WISCHMEIER & SMITH, 1958), refletindo-se no aumento das perdas de solo, conforme Bertoni & Pastana (1964).

O tratamento preparo reduzido (PR) apresentou desempenho intermediário no controle da erosão hídrica em relação ao preparo convencional (PC) e semeadura direta (SD) (Tabela 8), o que corrobora com os dados obtidos por Schick et al. (2000), Mello et al. (2003), Amaral et al. (2008) e Schick et al. (2014). A perda média anual de solo neste tratamento foi de $1,1 \text{ Mg ha}^{-1}$. Esse valor representa 98, 65 e 59 % de redução nas perdas de solo em relação às observadas nos tratamentos SC, PC e RP, respectivamente. Esse comportamento é explicado pela reduzida mobilização do solo no PR, que, além de manter considerável cobertura do solo (Tabela 7), diminuindo a ação da erosividade, promoveu o rompimento de camadas compactadas e aumentou a rugosidade na superfície do solo (Gilles et al., 2009), favorecendo a infiltração.

O tratamento SD apresentou o melhor desempenho no controle das perdas de solo (Tabela 8), o que também foi verificado por diversos autores (BEUTLER et al., 2003; COGO et al., 2003; MELLO et al., 2003; SCHICK et al., 2014). A perda de solo neste tratamento representou aproximadamente 1, 16 e 46 % daquela observada nos tratamentos SC, PC e PR (Tabela 8). Esse comportamento, no caso da SD, pode ser atribuído à mínima mobilização do solo, dada à ausência de preparo; à manutenção de elevada

cobertura do solo (Tabela 7) que protegeu a sua superfície da energia cinética das gotas de chuva e do escoamento superficial e ofereceu barreira física ao escoamento; e à manutenção ou melhoria das propriedades físicas do solo.

A SD, apesar da baixa rugosidade superficial do solo, normalmente presente nesse sistema de manejo (COGO, 1981; BERTOL et al., 1997), possibilitou o ancoramento dos resíduos nas soqueiras das culturas. Dissmeyer & Foster (1981) afirmaram que esse sistema de manejo ainda promove o aumento da consolidação superficial do solo, o que contribui para a diminuição da erosão hídrica em sulcos. Porém, mesmo com a melhoria destes atributos, o solo não está livre de escoamento superficial da água, pois, segundo Kohnke (1968), o solo apresenta capacidade finita de infiltração de água, independente do manejo.

O tratamento RP apresentou, de forma geral, reflexo do preparo sobre as perdas de solo. No cultivo do milho, as perdas foram as menores comparadas aos demais cultivos, levemente maiores do que às do SD devido ao efeito residual do preparo anterior realizado no PR que foi duas gradagens leves. Este mesmo efeito residual foi observado nos demais cultivos, neste tratamento. No período da aveia-preta, o preparo do solo foi uma aração e duas gradagens, por isso as perdas de solo no PR, neste cultivo, foram semelhantes às do tratamento PC, embora levemente menores devido ao efeito do manejo do solo anterior, SD.

Comparando os tratamentos que receberam DLS, entre si, a perda média de solo observada no tratamento PC foi 2,3, 2,8 e 5,1 vezes maior do que as verificadas no RP, PR e SD, respectivamente (Tabela 8), o que também foi observado por Dedecek et al. (1986), Bertol et al. (1997) e Schick (2014). Isto é explicado pelo

distinto grau de mobilização do solo ocasionado devido aos diferentes preparos. À medida que aumentou a intensidade do preparo, diminuíram a cobertura do solo (Tabela 7) e possivelmente a rugosidade superficial (BURWELL et al., 1963), com exceção da SD em que a rugosidade diminuiu devido à ausência de preparo do solo. Isto aumentou a quantidade de partículas prontamente disponíveis para o transporte e a suscetibilidade do solo à erosão em sulcos pela enxurrada, nos tratamentos com preparo, conforme Cogo (1981).

As perdas de solo também variaram amplamente entre os cultivos (Tabela 8), dadas às variações de cobertura do solo pela parte aérea das plantas e pelos resíduos culturais remanescentes, às variações do padrão de precipitação entre um cultivo e outro, ao intervalo de ocorrência entre chuvas, etc. Entre as culturas, as do período de outono/inverno apresentaram menor perda de solo, na média dos tratamentos, em relação às do período de primavera/verão. Isto pode ser explicado pela variação no poder erosivo das chuvas que ocorreram em cada período. Em média, 62 % da erosividade anual se concentraram no período de primavera/verão, concordando com o histórico de 20 anos de monitoramento das chuvas erosivas de Lages, SC, de acordo com Schick (2014). Também, no período de 24 anos, encontrou-se para Lages (SC), um valor médio anual do índice EI_{30} igual a $5.033 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, com um desvio-padrão de 1.338 e coeficiente de variação de 27 %. Esse valor de EI_{30} enquadra-se na faixa de valores entre 5.000 e $12.000 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ que normalmente ocorre no Brasil, segundo Cogo (1988). Oliveira et al. (2012) observaram variações de erosividade no Brasil entre 1.672 e $22.452 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, dada a variabilidade climática do país.

Comparando as perdas de solo deste trabalho com as do histórico de 20 anos do experimento (período em que nunca se aplicou DLS), constata-se redução nos quatro cultivos em que todos os tratamentos receberam dose única de DLS por cultivo, conforme tabela 3. Este efeito do dejetos sobre as perdas de solo concorda com o encontrado por Dieter (2009), Peles (2007) e Skalisz (2013), os quais trabalharam com aplicação de dejetos líquido bovino em sistema de semeadura direta. Tal resultado indica aumento da resistência do solo à erosão, devido à melhoria nos atributos físicos, como a estabilidade de agregados provocada pela aplicação do dejetos.

As perdas de água são apresentadas na tabela 9, as quais variaram entre os cultivos e entre tratamentos, porém, em magnitude inferior do as perdas de solo. Esse comportamento é explicado pelo fato de que os solos apresentam capacidade limite de infiltração de água e, a partir desse limite, a água é igualmente perdida por escoamento superficial, independentemente do tratamento dado ao solo. Essa menor variação nas perdas de água, em relação às perdas de solo, também foi verificada por Schick et al. (2000), Cogo et al. (2003), Beutler et al. (2003) e Schick et al. (2014).

A utilização do PC promoveu uma redução de 14 % nas perdas de água em relação ao SC, na média dos cultivos (Tabela 9). Essa redução se deve basicamente ao efeito proporcionado pelas culturas e seus respectivos resíduos, em relação ao impacto das gotas de chuva e escoamento superficial, e pela aplicação de DLS em relação às propriedades físicas do solo. O uso do DLS apresentou tendência em aumentar o teor de matéria orgânica do solo e melhorou os atributos físicos no PC em relação ao SC, refletindo-se na infiltração de água e permeabilidade, confirmado por Mellek et al.

(2010) que trabalhou na unidade experimental de Ponta Grossa, com Latossolo argiloso.

Tabela 9 - Precipitação (mm) e perdas de água (% da chuva) em cada tratamento (média das repetições), e média da série histórica de perdas para cada cultivo.

Cultura	Precipitação	Perdas de água				
		SD	PR	RP	PC	PC
	mm	%				
Milho	701	4	5	4	13	29
Histórico ¹	760	5	11	-	24	37
Aveia	852	4	8	6	14	26
Histórico ¹	747	7	14	-	33	45
Soja	822	5	7	7	22	37
Histórico ¹	724	6	8	-	24	44
Nabo	923	9	19	11	25	37
Histórico ¹	908	11	19	-	33	42

SD: semeadura direta; PR: preparo reduzido; RP: rotação de preparos; PC: preparo convencional; SC: solo sem cultivo. Fonte: o autor. ¹série histórica obtida de Schick (2014). (-): dado inexistente.

Observa-se, da mesma forma, que à medida que diminuiu a intensidade do preparo aumentou a cobertura do solo (tabela 7), com conseqüente diminuição das perdas de água (Tabela 9), o que também foi verificado por diversos autores (BERTOL et al., 1997; SCHICK et al., 2000; BEUTLER et al., 2003; MELLO et al., 2003; LEITE et al., 2004; BERTOL et al., 2008; PANACHUKI et al., 2011; SCHICK, 2014). Esse comportamento é explicado pela manutenção da capacidade de infiltração de água, promovida pela menor desagregação do solo e

menor obstrução dos poros, seguindo a diminuição da intensidade de preparo.

Os tratamentos conservacionistas (PR e SD), caracterizados pela baixa ou mínima mobilização do solo e pela presença de elevada cobertura do solo, apresentaram as menores perdas de água entre os tratamentos (Tabela 9). O tratamento SD, devido a menor mobilização e maior cobertura do solo, apresentou as menores perdas de água em todos os cultivos, o que também foi verificado por diversos outros autores (BERTOL et al., 1997; SCHICK et al., 2000; BEUTLER et al., 2003; MELLO et al., 2003; LEITE et al., 2004; BERTOL et al., 2008; PANACHUKI et al., 2011; SCHICK, 2014). A perda média de água do tratamento SD, nos quatro cultivos (Tabela 9), representou menos de 6 % da precipitação média anual, enquanto, nos tratamentos SC, PC, PR e RP, essas perdas equivaleram respectivamente a 33, 18, 10 e 7 % da precipitação média anual.

Comparando as perdas de água entre os cultivos, na média dos tratamentos, tem-se que as maiores perdas ocorreram nos cultivos de outono/inverno, apesar de a erosividade ser maior no período de primavera/verão. Isto demonstra menor influência da erosividade nas perdas de água, principalmente nos preparos conservacionistas. Possivelmente, as diferenças nas perdas de água entre os períodos analisados tenham sido em função do teor de água no solo, em maior quantidade durante o outono/inverno, o que diminuiu a infiltração e aumentou o escoamento. De acordo com Beutler et al. (2003), no outono/inverno as chuvas costumam ser mais longas e de menor intensidade, e os dias mais curtos e amenos o que diminui a evaporação e mantém o solo com teores de

água mais elevados, fazendo o solo expressar o seu limite de infiltração e de armazenagem de água.

As perdas de água, em geral, seguiram a mesma tendência das perdas de solo, porém, as reduções foram menores do que aquelas observadas nas perdas de solo, o que também foi verificado por Bertol (1994), Bertol et al. (1997), Schick et al. (2000), Cogo et al. (2003), Mello et al. (2003) e Amaral et al. (2008). A menor influência dos sistemas de manejo do solo na redução das perdas de água, comparada com a redução das perdas de solo, é explicada pelo fato de que todo o solo apresenta um limite de absorção e armazenamento de água. Ultrapassado esse limite, o excesso de água da chuva escoou sobre o terreno, praticamente igualando o efeito dos diferentes sistemas de manejo no que tange à sua eficácia de controle das perdas de água por erosão (Kohnke, 1968).

7.4 CARBONO ORGÂNICO (CO) NO SOLO E PERDAS POR EROSÃO

O teor de CO no solo, na profundidade de 0-2,5 cm, foi maior no tratamento SD, seguido do PR, RP, PC e SC, tanto antes como após o término do experimento (Tabela 6). Isto é explicado pelo fato de que os sistemas de cultivo sem mobilização do solo permitem que os resíduos culturais na superfície sofram decomposição lenta e continuada, promovendo acúmulo de matéria orgânica. Comparando entre si os tratamentos com cultivo e que receberam dose de DLS, na SD o estoque de CO foi 59 % maior do que no PC, na camada de 0-2,5 cm do solo, em todos os cultivos (Tabela 10). Isto é decorrente do reflexo positivo que o sistema conservacionista, sem mobilização do solo, apresenta, nas perdas de solo e água, diante do preparo

convencional onde a mobilização e perda de solo e CO é alta. Estes resultados concordam com Schick et al. (2000b); Bertol et al. (2003); Bertol et al. (2004). O tratamento RP foi melhor do que o PR, na média dos cultivos (Tabela 10), em termos de valores absolutos.

Tabela 10 - Teores de carbono orgânico (kg kg⁻¹) do solo na camada de 0-2,5 cm de profundidade de um Cambissolo Húmico aluminico submetido a diferentes sistemas de cultivo e manejo (média de duas repetições).

Cultura	SD	PR	RP	PC	SC
	.....kg kg ⁻¹				
Antes exp.	0,033	0,029	0,025	0,021	0,014
Milho	0,034	0,029	0,026	0,023	0,015
Aveia	0,031	0,027	0,025	0,021	0,013
Soja	0,039	0,032	0,029	0,026	0,016
Nabo	0,036	0,030	0,027	0,024	0,015
Média	0,035	0,029	0,026	0,022	0,014
CV (%)	15,6	16,2	22,0	18,1	24,2

SD: semeadura direta; PR: preparo reduzido; RP: rotação de preparos; PC: preparo convencional; SC: solo sem cultivo; CV: coeficiente de variação. Fonte: o autor.

Em relação aos teores de CO perdido nos sedimentos de por erosão hídrica, variaram ao longo do tempo (Tabela 11). Na cultura da aveia e do nabo-forrageiro, foram maiores na amostra 1, na média dos tratamentos, devido às chuvas que ocorreram logo após a aplicação do DLS terem sido intensas e erosivas. O mesmo não ocorreu com a soja, onde as chuvas mais erosivas ocorreram à época da Amostra 2. A alta concentração de matéria orgânica na superfície do solo, especialmente nos sistemas conservacionistas de manejo, associada à sua baixa densidade, justifica o

maior teor de CO nos sedimentos transportados em decorrência da erosão, nos tratamentos com cultivo do solo do que no SC, de acordo com Barrows & Kilmer (1963) e Schick et al. (2000b).

Quanto às perdas totais de CO, presentes nos sedimentos da erosão, a SD foi 2,9 vezes mais eficiente do que o PC, seguido do RP e PR, com 1,6 e 1,5, respectivamente, na média dos tratamentos e cultivos (Tabela 12). O tratamento SC apresentou as maiores perdas de CO nos sedimentos, em todos os cultivos, mesmo tendo apresentado os menores teores no solo. Isto se deve ao fato de, neste tratamento, as perdas de solo ter sido expressivamente maiores do que nos tratamentos com cultivo.

Comparando por cultivo, as perdas totais de CO nos sedimentos (Tabela 12) seguiram as mesmas tendências das perdas de solo e água (Tabelas 8 e 9), onde os períodos do ano com chuvas mais erosivas e intensas também apresentam maiores perdas, conforme dados obtidos por Seganfredo et al. (1997) e Schick (2014).

Tabela 12 - Perdas totais de carbono orgânico nos sedimentos da erosão de um Cambissolo Húmico alumínico submetido a diferentes sistemas de cultivo e manejo do solo (média de duas repetições).

Cultura	SD	PR	RP	PC	SC
	.....kg ha ⁻¹				
Milho	8	14	8	26	57
Aveia	16	22	36	27	56
Soja	18	26	16	34	156
Nabo	16	24	15	43	97
Média	14	22	19	32	91
CV (%)	49	51	58	49	46

SD: semeadura direta; PR: preparo reduzido; RP: rotação de preparos; PC: preparo convencional; SC: solo sem cultivo; CV: coeficiente de variação. Fonte: o autor.

7.5 NUTRIENTES DE PLANTAS NO SOLO E PERDAS POR EROSÃO

7.5.1 FÓSFORO (P)

Segundo os critérios da classificação da CQFS/ RS-SC (2004), para as análises químicas efetuadas antes do início do experimento, os teores de P na camada superficial do solo variaram de muito baixo para o tratamento SC, seguido de baixo, médio, alto e muito alto para os tratamentos PC, RP, PR e SD, respectivamente, conforme a tabela 13. Os valores mais altos para o tratamento SD (antes e após o término do experimento) são considerados normais e devem-se ao fato de que o P apresenta baixa mobilidade no solo. Altos teores na camada superficial do solo são, em parte, resultado da adubação superficial (DLS), bem como pela mineralização desse elemento decorrente da decomposição dos resíduos culturais presentes na superfície do solo, liberando o elemento regularmente. Com a sequência de aplicação do DLS, ao longo do tempo, aumentou o teor de P no solo, conforme verificado também por Gatiboni et al. (2008). Com base na média dos cultivos, o teor de P na camada de 0-2,5 cm na SD e PR foi, respectivamente, 3,6 e 2,7 vezes maior do que no PC. Para as demais camadas do solo, houve redução numérica do teor de P, com variação dos valores, sendo os menores encontrados na camada 10-20 cm. Scherer et al. (2007) trabalharam com aplicação em superfície de diferentes doses de DLS, por três anos em Latossolo de textura argilosa e verificaram acúmulo de P até 10 cm de profundidade. O aumento da concentração de P no solo com uso de DLS se dá com o passar do tempo, como reportado por Rauber (2011), o qual encontrou alta concentração de P ao longo do perfil, após a aplicação

continuada de dejetos por sete anos e, em oito anos, como reportado por Dal Bosco (2007).

Tabela 13 - Teores de P extraível do solo da camada de 0-2,5 cm de profundidade de um Cambissolo Húmico aluminoso submetido a diferentes sistemas de cultivo e manejo (média de duas repetições).

Cultura	SD	PR	RP	PC	SC
	.....mg kg ⁻¹				
	1				
Antes exp.	22,9	17,2	15,1	6,5	3,7
Milho	16,8	16,6	13,7	4,9	3,2
Aveia	39,9	16,7	15,3	5,3	2,7
Soja	19,9	19,1	14,3	7,9	5,4
Nabo	23,3	14,1	13,8	6,0	4,5
Média	24,5	16,6	14,3	6,0	3,9
CV (%)	18,8	15,1	20,0	17,8	18,4

SD: semeadura direta; PR: preparo reduzido; RP: rotação de preparos; PC: preparo convencional; SC: solo sem cultivo; CV: coeficiente de variação. Fonte: o autor.

De forma geral, os teores de P perdido nos sedimentos da erosão (Tabela 14) foram cerca de 80 vezes maiores do que os da água da enxurrada (Tabela 15), na média dos tratamentos e dos cultivos, concordando com os dados de Pote et al. (1996), Gascho et al. (1998) e Schick et al. (2000), pelo fato de ser este elemento praticamente não solúvel na água, mas adsorvido pelos sedimentos. Isto indica que o P pode tornar-se um sério problema de contaminação ambiental por eutrofização das águas, além de contribuir para elevar o custo de produção, principalmente se as perdas de solo forem elevadas. Ainda, na SD, os teores nos sedimentos foram 5,7 vezes maiores do que no PC,

conforme constatado também por Schick et al. (2000b) e Guadagnin (2003). Isto é explicado pela maior acumulação deste elemento na camada superficial do solo na SD do que no PC (Tabela 13), decorrente das razões apresentadas quando da discussão dos teores deste elemento no solo. Além disso, os sedimentos perdidos por erosão da SD provavelmente foram coloidais, na sua maioria e, portanto, com maior capacidade de adsorção de P do que os do PC. O comportamento dos teores de P, ao longo de cada cultivo, demonstrou ser muito variado e dependente do volume de chuva correspondente a cada amostra. Na cultura da aveia, os maiores teores do elemento foram encontrados na amostra correspondente às duas chuvas que aconteceram logo após a aplicação do DLS (Amostra 2). Já para as culturas da soja e nabo forrageiro, os maiores teores foram encontrados na primeira amostra, a qual foi representada pela reunião das três primeiras chuvas erosivas ocorridas nos cultivos.

Tabela 14 - Teores de P extraível nos sedimentos da erosão, em diferentes sistemas de cultivo e manejo do solo e ciclo cultural, num Cambissolo Húmico aluminico (média de duas repetições).

Tratamentos	Amostra única				Média
	.....mg kg ⁻¹				
	Milho				
SD					23,1
PR					19,1
RP					14,5
PC					17,0
SC					2,8
CV (%)					9,0
	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 4	
	Aveia				
SD	14,5	28,5	33,3	34,7	27,7
PR	16,5	16,3	11,9	15,5	15,5
RP	14,9	19,6	17,7	18,3	17,6
PC	21,4	7,7	5,9	15,0	12,5
SC	3,9	2,1	3,4	2,5	2,8
CV (%)	10,1	9,4	11,1	8,9	
	Soja				
SD	69,4	58,4	29,0	17,5	43,2
PR	37,1	31,8	26,9	22,6	29,4
RP	30,3	24,6	25,3	12,9	23,1
PC	12,5	7,9	8,7	8,2	8,9
SC	3,7	1,5	7,3	8,7	5,2
CV (%)	9,0	10,2	8,5	12,3	
	Nabo				
SD	43,8	32,2	38,9	21,8	33,0
PR	31,7	16,4	24,3	19,6	22,7
RP	25,4	20,1	22,8	16,2	21,1
PC	19,2	14,2	16,7	11,1	15,0
SC	13,1	2,8	7,9	3,5	6,8
CV (%)	13,9	11,0	13,6	12,9	

SD: semeadura direta; PR: preparo reduzido; RP: rotação de preparos; PC: preparo convencional; SC: solo sem cultivo; CV: coeficiente de variação. Fonte: o autor

Os teores de P na água da enxurrada foram baixos, especialmente nos tratamentos não conservacionistas (PC e SC) (tabela 15), concordando com Schick (1999) e Schick et al. (2000b). Nos preparos conservacionistas (SD e PR), os teores de P na água da enxurrada foram 5,1 vezes maiores do que nos não conservacionistas, na média dos cultivos, concordando com Schick et al. (2000b). Os maiores teores de P na água da enxurrada nos tratamentos SD e PR devem-se aos maiores teores na superfície do solo (Tabela 15). Isto é consequência dos resíduos vegetais mantidos na superfície, e do DLS adicionado sobre o solo durante o período experimental, bem como ao resíduo das adubações realizadas no solo do experimento antes desta pesquisa. No PC e SC, por outro lado, os teores de P na camada superficial do solo (tabela 13) e, conseqüentemente, na água da enxurrada, foram devidos, no caso do tratamento SC, à ausência de cultivo e de aplicação de DLS e, no caso do PC, à incorporação ao solo, pelo preparo, dos resíduos vegetais e dos adubos.

Tabela 15 - Teores de P solúvel na água da enxurrada, em diferentes sistemas de cultivo e manejo do solo e ciclo cultural num Cambissolo Húmico alumínico (média de duas repetições).

	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 4	Média
	.....mg L ⁻¹				
	Milho				
SD		0,66			0,66
PR		0,06			0,06
RP		0,02			0,02
PC		0,09			0,09
SC		0,02			0,02
CV (%)		8,9			
	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 4	
	Aveia				
SD	0,39	1,23	0,21	1,25	0,77
PR	0,08	2,54	0,01	0,09	0,68
RP	0,05	1,51	0,04	0,11	0,35
PC	0,13	0,47	0,09	0,09	0,19
SC	0,10	0,10	0,04	0,16	0,10
CV (%)	10,1	14,4	13,3	15,4	
	Soja				
SD	1,43	1,09	0,79	0,81	1,03
PR	0,91	0,27	0,17	0,23	0,39
RP	0,55	0,25	0,11	0,16	0,26
PC	0,19	0,08	0,26	0,35	0,22
SC	0,05	0,03	0,04	0,09	0,05
CV (%)	13,9	9,0	11,6	16,4	
	Nabo				
SD	1,26	0,20	0,70	1,67	0,95
PR	0,22	0,11	0,31	0,82	0,36
RP	0,14	0,09	0,27	0,59	0,27
PC	0,10	0,16	1,10	0,93	0,57
SC	0,07	0,1	0,09	1,10	0,34
CV (%)	9,1	13,6	12,2	15,4	

SD: semeadura direta; PR: preparo reduzido; RP: rotação de preparos; PC: preparo convencional; SC: solo sem cultivo; CV: coeficiente de variação. Fonte: o autor.

Os tratamentos SD e PR apresentaram perdas totais de P na água da enxurrada 2,3 vezes maiores do que os convencionais (PC e SC), na média dos tratamentos e dos cultivos, influenciadas principalmente pelos maiores teores do elemento na água, já que as perdas de água foram menores na SD e PR (Tabela 9). Assim, o comportamento desses dados, os quais concordam com os observados por de Richardson & King (1995), Rhem et al. (2002) e Schick et al. (2000b), pode ser explicado pelas mesmas razões apresentadas anteriormente, utilizadas para explicar o comportamento dos teores do P na água. As perdas totais de P variaram com o ciclo cultural, de acordo com as variações nas precipitações e nas perdas de água, bem como com os teores do elemento na água, já discutidos.

As perdas totais de P nos sedimentos da erosão foram baixas nos tratamentos que envolveram cultivo do solo (SD, PR, RP e PC), apesar dos altos teores do elemento nos sedimentos (Tabela 15), concordando com os dados obtidos por Bertol (1994a), Schick et al. (2000b) e Guadagnin (2003). Assim, as quantidades de P perdido nos sedimentos foram influenciadas, principalmente, pelas baixas perdas de solo ocorridas nesses tratamentos (Tabela 8). No caso do tratamento SC, a alta perda desse elemento nos sedimentos é explicada, principalmente, pela alta perda de solo, já que o teor desse elemento nos sedimentos foi baixo.

Tabela 16 - Perdas totais de P extraível nos sedimentos e na água da enxurrada de um Cambissolo Húmico alumínico submetido a diferentes sistemas de cultivo e manejo do solo (média de duas repetições).

Cultura	SD	PR	RP	PC	SC
Nos sedimentos					
.....g ha ⁻¹					
Milho	3,9	6,9	3,3	14,4	156,8
Aveia	11,6	11,3	21,6	23,8	120,0
Soja	4,7	6,7	12,5	12,8	475,9
Nabo	17,5	21,3	14,3	33,9	408,0
Média	9,4	11,5	12,9	21,2	290,2
CV(%)	85,1	94,6	81,9	77,3	89,1
Na água					
Milho	185,0	21,03	5,6	82,0	40,0
Aveia	262,4	463,5	178,9	226,6	221,5
Soja	423,3	224,4	149,6	397,8	152,1
Nabo	789,1	631,3	274,1	1.315,2	1.161,1
Média	414,9	335,0	152,0	505,4	393,6
CV(%)	94,2	99,0	78,9	99,0	88,9
Somatório das perdas					
Milho	188,9	27,9	8,9	96,4	196,8
Aveia	274,0	474,8	200,5	250,4	341,5
Soja	428,0	231,1	162,1	410,4	628,0
Nabo	806,6	152,8	288,4	1.348	1.569
Total	1.696	884,9	659,9	2.105	2.735

SD: semeadura direta; PR: preparo reduzido; RP: rotação de preparos; PC: preparo convencional; SC: solo sem cultivo; CV: coeficiente de variação. Fonte: o autor.

7.5.2 POTÁSSIO (K)

Na camada de 0-2,5 cm, o teor de K trocável, na média dos tratamentos SD e PR, foi 1,3 vezes maior do que no PC (Tabela 17), enquanto, no caso do P, o

aumento foi de 3,5. Isto revela que o K efetivamente é mais móvel no solo e concentra-se menos na superfície do que o P nos preparos conservacionistas, conforme constatado também por Eltz et al. (1989) e Schick et al. (2000b). O alto teor de K na superfície do solo nos preparos conservacionistas explica, em parte, as altas perdas deste elemento pela enxurrada, especialmente quando adsorvidos aos sedimentos.

Antes do início desta pesquisa, os teores na camada superficial variaram de médios a altos (Tabela 17), conforme a classificação de CQFS/ RS-SC (2004), sendo que o tratamento SD apresentou as maiores concentrações, 2,3 vezes maiores que o PC. Com o alto teor de K existente no solo antes de iniciar o experimento, somado ao K aplicado pelo DLS e também com aquele liberado pela decomposição dos resíduos culturais presentes sobre a superfície do solo, ao final da pesquisa os teores eram maiores em todos os tratamentos. Isso, aliado à grande mobilidade do K no solo, fez com que ele apresentasse teores altos também nas camadas mais profundas, mas em valores mais baixos do que na superfície (Anexo), concordando com Andreola (2000).

Tabela 17 - Teores de K trocável na camada de 0-2,5cm de um Cambissolo Húmico aluminico submetido a diferentes sistemas de cultivo e manejo do solo (média de duas repetições).

Cultura	SD	PR	RP	PC	SC
	.....mg kg ⁻¹				
Antes exp.	222	157	122	95	69
Milho	286	289	122	206	229
Aveia	292	219	265	251	80
Soja	268	276	287	161	84
Nabo	271	270	248	232	88
Média	231	262	246	189	90
CV (%)	29,1	24,3	19,2	27,1	22,1

SD: semeadura direta; PR: preparo reduzido; RP: rotação de preparos; PC: preparo convencional; SC: solo sem cultivo; CV: coeficiente de variação. Fonte: o autor.

Os teores de K nos sedimentos da erosão (Tabela 18) foram cerca de 40 vezes maiores do que aqueles encontrados na água (Tabela 19), na média dos tratamentos e dos cultivos, conforme constatado também por Zobisch et al. (1995) e Schick et al. (2000b). Isto se deve a altos teores deste elemento no solo (tabela 17), decorrentes principalmente da aplicação do DLS, da manutenção dos resíduos vegetais no solo e da aplicação de adubos antes de iniciar esta pesquisa e, no caso do solo sem cultivo, do alto estoque natural do elemento no solo. Os teores de K nos sedimentos foram aproximadamente duas vezes maiores nos preparos conservacionistas (SD e PR) do que nos convencionais (PC e SC), graças, principalmente, à sua maior

concentração na camada superficial do solo (Tabela 17), pelas razões já discutidas anteriormente.

Tabela 18 - Teores de K extraível nos sedimentos da erosão, em diferentes sistemas de manejo e cultivo do solo e ciclo cultural num Cambissolo Húmico aluminico (média de duas repetições).

Tratamentos	Amostra única				Média
	.....mg kg ⁻¹				
	Milho				
SD					337
PR					269
RP					189
PC					183
SC					133
CV (%)					21,8
	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 4	
	Aveia				
SD	344	252	237	330	290
PR	263	294	292	276	281
RP	332	294	281	201	277
PC	139	163	193	142	159
SC	98	72	55,5	80,5	76
CV (%)	37,2	39,2	41,2	33,2	31,53
	Soja				
SD	281	301	198	246	256
PR	232	268	227	153	220
RP	237	206	203	158	201
PC	253	108	108	164	158
SC	98,5	152	152	76	119
CV (%)	41,9	36,8	39,2	31,0	44,9
	Nabo				
SD	280	272	176	283	252
PR	101	192	146	221	165
RP	111	182	146	197	159
PC	159	226	192	153	182
SC	57	120	88	90	88
CV (%)	31,28	29,2	33,2	41,0	44,2

SD: semeadura direta; PR: preparo reduzido; RP: rotação de preparos; PC: preparo convencional; SC: solo sem cultivo; CV: coeficiente de variação. Fonte: o autor.

Os teores de K na água da enxurrada foram expressivamente maiores do que os de P, em todos os tratamentos, concordando com Schick (1999), Schick et al. (2000b) e Guadagnin (2003). O maior teor do K do que de P na água da enxurrada é explicado pelo fato de que o K se encontra em maiores teores no solo, além de ser mais solúvel e móvel do que o P.

Nos tratamentos SD e PR, os teores de K na água da enxurrada foram 2,7 vezes maiores do que no PC e SC, na média dos sistemas de manejo e ciclos culturais (Tabela 19). Isto é explicado também pelos altos teores do elemento na camada superficial do solo (Tabela 17) na SD e PR, decorrentes das adubações e do acúmulo de resíduos vegetais na superfície. Nos tratamentos PC e SC, teores de K relativamente altos na água, são explicados, no caso do SC, pelo elevado estoque natural deste elemento no solo e, no caso do PC, além do estoque, pela incorporação dos resíduos vegetais e dos adubos ao solo pelo preparo. Os dados obtidos em relação ao K concordam com os de Schick et al. (2000b), Guadagnin (2003) e Mecabô (2013).

Tabela 19 Teores de K solúvel na água da enxurrada, em diferentes sistemas de cultivo e manejo do solo e ciclo cultural num Cambissolo Húmico aluminico (média de duas repetições).

Tratamentos	Amostra única				Média
	Milho				
	mg kg ⁻¹				
SD					12,7
PR					11,5
RP					9,1
PC					5,3
SC					4,4
CV(%)					11,2
	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 4	
	Aveia				
SD	10,2	7,2	5,3	5,2	5,7
PR	6,8	4,9	2,6	4,3	4,2
RP	5,1	3,8	3,0	3,3	3,6
PC	4,9	3,5	2,9	3,9	3,3
SC	2,8	1,7	2,4	1,6	1,8
CV(%)	17,4	15,9	15,2	18,1	15,4
	Soja				
SD	12,5	5,6	6,5	4,4	7,3
PR	7,1	5,5	4,5	3,3	4,9
RP	5,9	4,5	3,1	3,7	4,1
PC	4,8	3,8	4,4	2,0	3,3
SC	2,1	1,6	1,7	2,4	1,4
CV(%)	12,2	15,2	19,2	17,5	18,5
	Nabo				
SD	9,4	7,2	5,4	6,1	7,0
PR	6,4	6,5	4,3	5,9	5,8
RP	4,8	5,2	2,8	2,0	3,7
PC	3,2	3,1	1,9	2,4	2,2
SC	1,9	1,2	1,0	1,1	1,3
CV(%)	19,2	21,2	16,2	15,4	18,2

SD: semeadura direta; PR: preparo reduzido; RP: rotação de preparos; PC: preparo convencional; SC: solo sem cultivo; CV: coeficiente de variação. Fonte: o autor.

As perdas totais de K na água da enxurrada foram altas em relação ao estoque presente no solo (Tabela 20), concordando com Schick et al. (2000b) e Guadagnin (2003), em decorrência dos elevados teores do elemento na água da enxurrada e das altas perdas de água por erosão. Nos preparos conservacionistas (SD e PR), as perdas deste elemento na água foram 19 % menores do que nos convencionais (PC e SC). Isto se explica principalmente pelas maiores perdas de água ocorridas nestes tratamentos, embora os teores do elemento na água da enxurrada tenham sido maiores na SD e PR, concordando com Schick et al. (2000b). As referidas perdas variaram entre os cultivos, em decorrência das oscilações nas perdas de água e nos teores do elemento na água, já discutidas.

Tabela 20 - Perdas totais de K extraível nos sedimentos e solúvel na água da enxurrada de um Cambissolo Húmico aluminoso submetido a diferentes sistemas de cultivo e manejo do solo (média de duas repetições).

Cultura	SD	PR	RP	PC	SC
No sedimento					
.....g ha ⁻¹					
Milho	57	96	43	155	7.569
Aveia	123	205	343	303	3.258
Soja	28	160	220	227	10.906
Nabo	133	155	108	262	5,332
Média	85	154	108	237	6.766
CV (%)	61	72	69	81	77
Na água					
Milho	3.561	4.030	2.551	4.829	8.940
Aveia	1.942	2.862	1.840	3.936	3.987
Soja	3.000	2.819	2.360	5.967	4.257
Nabo	5.814	10.171	3.756	5.076	4.439
Média	3.579	4.970	2.626	4.952	5.405
CV (%)	83	69	71	81	77
Somatório das perdas					
Milho	3.618	7.126	2.594	4.984	16.509
Aveia	2.065	3.067	2.183	4.239	7.245
Soja	3.028	2.979	2.580	6.194	15.163
Nabo	5.947	10.326	3.864	5.338	9.771
Total	14.658	23.498	11.221	20.755	48.688

SD: semeadura direta; PR: preparo reduzido; RP: rotação de preparos; PC: preparo convencional; SC: solo sem cultivo; CV: coeficiente de variação. Fonte: o autor.

7.5.3 CÁLCIO (Ca) E MAGNÉSIO (Mg)

Os teores de Ca e Mg no solo são apresentados na tabela 21, demonstram que o solo já apresentava um alto estoque desses nutrientes antes mesmo de iniciar a presente pesquisa, principalmente na camada superficial, variando de médio à alto para o Ca e alto

para o Mg, segundo os critérios da classificação da CQFS/RS-SC (2004). Isso se deve ao alto teor desses nutrientes presentes no calcário que foi adicionado ao solo nas fases iniciais de condução do experimento, antes da presente pesquisa. O Ca, especialmente, é adsorvido aos colóides do solo e, por isso, facilmente transportado nos sedimentos de erosão. Isso pode ser explicado também pela alta mobilidade dos referidos nutrientes no solo, independentemente do sistema de cultivo e manejo.

Tabela 21 - Teores de Ca e Mg trocáveis do solo na camada de 0-2,5 cm de profundidade de um Cambissolo Húmico aluminoso submetido a diferentes sistemas de cultivo e manejo (média de duas repetições).

Cultura	SD	PR	RP	PC	SC
	.....cmol _c dm ³				
	Cálcio				
Antes exp.	6,28	6,7	7,9	5,1	4,5
Milho	7,9	8,1	8,2	6,5	3,7
Aveia	7,4	4,4	5,8	5,4	4,6
Soja	10,1	7,6	9,2	4,8	3,4
Nabo	8,5	7,9	7,4	6,0	3,9
Média	7,9	6,9	7,7	5,5	4,0
CV (%)	14,5	18,1	13,3	12,3	17,7
	Magnésio				
Antes exp.	2,8	2,7	2,6	2,38	1,9
Milho	2,7	2,3	3,3	2,8	1,8
Aveia	3,6	2,3	3,3	3,3	2,8
Soja	4,0	2,9	3,0	2,3	1,6
Nabo	5,9	5,1	5,3	4,2	2,4
Média	3,8	3,0	3,5	2,9	2,1
CV (%)	19,2	15,3	19,9	18,2	21,1

SD: semeadura direta; PR: preparo reduzido; RP: rotação de preparos; PC: preparo convencional; SC: solo sem cultivo; CV: coeficiente de variação. Fonte: o autor.

De forma geral, a relação Ca/Mg no solo pode variar de 1 a 10, mas, idealmente, deve ser de 3/1, a qual é considerada adequada para a maioria das culturas, desde que se alcancem os teores mínimos exigidos. Na presente pesquisa, os teores destes

elementos no solo não apresentaram variações expressivas ao longo dos cultivos.

Comparando os tratamentos entre si, os teores de Ca e Mg nos sedimentos, nos quatro cultivos, foram maiores na SD, seguido do PR, RP, PC e SC, respectivamente (Tabelas 22 e 23). Isto ocorreu devido ao acúmulo destes elementos na camada superficial do solo, nos sistemas de manejo com menor mobilização mecânica, concordando com Castro et al. (1986), Dedecek et al. (1986), Bertol (1994) e Schick et al. (2000).

Tabela 22 - Teores de Ca extraível nos sedimentos da erosão, em diferentes sistemas de cultivo e manejo do solo e ciclo cultural num Cambissolo Húmico aluminico (média de duas repetições).

Tratamentos	Amostra única				Média
	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 4	
	Milho				
	.....cmol _c kg ⁻¹				
SD		8,0			8,0
PR		7,1			7,1
RP		6,7			6,7
PC		5,3			5,3
SC		4,4			4,4
CV (%)		18,2			
	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 4	
	Aveia				
SD	5,8	6,8	4,3	4,1	5,3
PR	3,0	6,3	4,3	4,5	4,3
RP	5,8	5,2	4,2	3,5	4,7
PC	4,4	5,9	3,7	4,6	4,7
SC	3,3	3,9	2,2	2,2	2,9
CV (%)	13,2	11,1	14,4	16,6	
	Soja				
SD	5,9	5,4	3,0	3,7	4,5
PR	6,2	5,2	3,8	4,3	4,8
RP	4,1	3,5	3,3	3,6	3,6
PC	3,5	3,8	3,3	2,7	3,3
SC	2,6	2,8	2,9	2,4	2,7
CV (%)	13,3	21,9	17,7	18,8	
	Nabo				
SD	3,6	5,6	3,8	3,9	4,2
PR	5,0	4,8	3,6	3,8	4,3
RP	4,5	5,1	2,8	4,5	4,2
PC	3,3	3,3	2,0	2,6	2,8
SC	2,4	1,7	1,3	1,0	1,6
CV (%)	15,1	18,6	16,6	19,9	15,1

SD: semeadura direta; PR: preparo reduzido; RP: rotação de preparos; PC: preparo convencional; SC: solo sem cultivo; CV: coeficiente de variação. Fonte: o autor.

Tabela 23 - Teores de Mg extraível nos sedimentos da erosão, em diferentes sistemas de cultivo e manejo do solo e ciclo cultural num Cambissolo Húmico aluminoso (média de duas repetições).

Tratamentos	Amostra única				Média
	Milho				
	.....cmol _c kg ⁻¹				
SD	2,93				2,93
PR	2,86				2,86
RP	2,93				2,93
PC	2,62				2,62
SC	2,23				2,23
CV (%)	12,24				
	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 4	
	Aveia				
SD	2,18	3,35	2,6	1,84	2,49
PR	1,75	2,78	2,33	2,46	2,33
RP	1,97	2,07	2,04	2,26	2,08
PC	1,64	1,59	1,15	2,39	1,69
SC	1,32	1,02	0,83	0,52	0,92
CV (%)	13,19	9,92	10,20	14,8	11,74
	Soja				
SD	3,83	1,81	2,90	3,57	3,02
PR	3,02	1,88	1,29	2,41	2,15
RP	2,70	2,21	1,92	2,23	2,26
PC	2,48	1,68	2,02	1,67	1,96
SC	1,08	1,69	0,30	1,10	1,04
CV (%)	13,92	10,94	11,27	9,95	10,23
	Nabo				
SD	1,65	2,72	2,68	3,01	2,51
PR	1,36	2,60	1,48	1,48	1,73
RP	1,21	1,59	1,41	1,01	1,30
PC	1,11	1,61	1,87	0,84	1,35
SC	0,12	1,63	1,37	0,12	0,81
CV (%)	14,23	12,92	14,39	15,33	10,19

SD: semeadura direta; PR: preparo reduzido; RP: rotação de preparos; PC: preparo convencional; SC: solo sem cultivo; CV: coeficiente de variação. Fonte: o autor.

Para o Ca, ocorreu o mesmo comportamento verificado para os demais nutrientes, onde, períodos de maior ocorrência de chuvas erosivas foram aqueles nos quais houve maior transporte do elemento pelo escoamento superficial, independentemente do tratamento e do cultivo.

Tabela 24 - Teores de Ca solúvel na água da enxurrada, em diferentes sistemas de cultivo e manejo do solo e ciclo cultural num Cambissolo Húmico alumínico (média de duas repetições).

Tratamentos	Amostra única				Média
	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 4	
	Milho				
	..... cmol _c kg ⁻¹				
SD					0,061
PR					0,058
RP					0,047
PC					0,015
SC					0,009
CV (%)					19,9
	Aveia				
SD	0,019	0,022	0,015	0,014	0,017
PR	0,013	0,014	0,012	0,011	0,012
RP	0,019	0,017	0,013	0,010	0,015
PC	0,012	0,014	0,010	0,001	0,011
SC	0,016	0,019	0,013	0,009	0,014
CV (%)	16,6	14,8	16,1	13,6	18,2
	Soja				
SD	0,021	0,018	0,018	0,013	0,017
PR	0,017	0,018	0,012	0,007	0,016
RP	0,015	0,016	0,006	0,008	0,011
PC	0,013	0,012	0,005	0,005	0,009
SC	0,018	0,024	0,008	0,014	0,016
CV (%)	12,9	15,9	18,8	16,2	15,5
	Nabo				
SD	0,021	0,019	0,024	0,025	0,022
PR	0,016	0,023	0,019	0,022	0,020
RP	0,012	0,020	0,014	0,017	0,016
PC	0,009	0,015	0,012	0,015	0,012
SC	0,019	0,016	0,013	0,012	0,015
CV (%)	13,3	17,1	14,4	22,2	21,1

SD: semeadura direta; PR: preparo reduzido; RP: rotação de preparos; PC: preparo convencional; SC: solo sem cultivo; CV: coeficiente de variação. Fonte: o autor.

Tabela 25 Teores de Mg solúvel na água da enxurrada, em diferentes sistemas de cultivo e manejo do solo e ciclo cultural, num Cambissolo Húmico aluminico (média de duas repetições).

	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 4	Média
Tratamentos	Milho				
	.....cmol _c kg ⁻¹				
	1.....				
SD		0,062			0,062
PR		0,066			0,066
RP		0,079			0,079
PC		0,030			0,030
SC		0,015			0,015
CV (%)		21,02			
	Aveia				
SD	0,006	0,004	0,002	0,005	0,004
PR	0,014	0,003	0,007	0,005	0,005
RP	0,004	0,004	0,003	0,007	0,004
PC	0,000	0,004	0,006	0,003	0,003
SC	0,007	0,009	0,002	0,000	0,004
CV (%)	18,28	15,30	18,19	20,01	16,22
	Soja				
SD	0,006	0,004	0,008	0,008	0,006
PR	0,007	0,002	0,009	0,005	0,006
RP	0,006	0,003	0,001	0,009	0,004
PC	0,004	0,001	0,005	0,005	0,004
SC	0,006	0,002	0,003	0,003	0,003
CV (%)	13,20	19,20	15,49	14,48	15,91
	Nabo				
SD	0,005	0,010	0,009	0,005	0,007
PR	0,007	0,009	0,005	0,007	0,008
RP	0,004	0,005	0,006	0,003	0,005
PC	0,003	0,007	0,002	0,001	0,003
SC	0,002	0,003	0,002	0,000	0,002
CV (%)	19,10	18,19	15,39	20,09	19,01

SD: semeadura direta; PR: preparo reduzido; RP: rotação de preparos; PC: preparo convencional; SC: solo sem cultivo; CV: coeficiente de variação. Fonte: o autor.

As perdas totais de Ca e Mg na água da enxurrada foram, respectivamente, 3,8 e de 2 vezes mais elevadas do que nos sedimentos (Tabela 26), na média dos tratamentos e cultivos. Esses resultados corroboram os de Castro et al. (1986a) que verificaram serem as perdas destes nutrientes em água geralmente mais elevadas do que em sedimentos. As maiores perdas de Ca foram verificadas no tratamento SC (14,5 kg ha⁻¹ ano⁻¹), seguidas das que ocorreram no PC (7,5 kg ha⁻¹ ano⁻¹); as menores perdas ocorreram na SD (4 kg ha⁻¹ ano⁻¹). Os valores de perdas de Ca foram superiores aos verificados por Resk (1981). As diferenças de valores entre os experimentos podem ser devidas à diversidade de solo, cultivo, clima, adubação e tempo de condução dos dois experimentos.

De forma geral, as perdas totais de Ca e Mg foram mais elevadas na água da enxurrada do que nos sedimentos da erosão (Tabela 26). Estes dados contrariam os obtidos por Burwell et al. (1975) e Laflen & Tabatabai (1984), os quais observaram que a perda da maior parte destes elementos está associada aos sedimentos da erosão. Isto é devido ao fato de não ter sido feita a separação do material coloidal em suspensão na enxurrada por meio de filtragem, como o fizeram os autores supracitados. Além disso, as perdas de água foram relativamente altas na presente pesquisa. Assim, apesar de ser o teor dos nutrientes relativamente baixos na água da enxurrada, as quantidades totais de nutrientes perdidos na água foram maiores do que aquelas perdidas nos sedimentos.

Tabela 26 - Perdas totais de Ca e Mg extraíveis nos sedimentos e solúveis na água da enxurrada de um Cambissolo Húmico aluminico submetido a diferentes sistemas de cultivo e manejo do solo (média de duas repetições).

Cultura	SD	PR	RP	PC	SC
.....g ha ⁻¹					
Ca nos sedimentos					
Milho	557	1.022	892	1.802	10.016
Aveia	908	1.252	2.336	3.590	5.033
Soja	199	447	790	1.929	10.154
Nabo	898	1.631	1.153	2.549	3.926
Total	2.560	4.352	5.168	9.870	29.129
CV (%)	69,2	77,2	74,2	66,2	61,2
Ca na água					
Milho	3.299	3.929	2.586	4.811	9.026
Aveia	2.549	3.271	3.118	5.248	12.405
Soja	2.838	3.524	2.567	6.510	19.464
Nabo	7.310	14.029	6.497	11.076	20.490
Total	15.996	21.804	14.768	27.644	61.385
CV (%)	88,1	85,4	77,2	84,3	89,2
Somatório das perdas - Ca					
Milho	3.856	4.951	3.478	6.613	19.042
Aveia	3.457	4.523	5.454	8.838	20.438
Soja	3.037	3.971	3.357	8.439	29.618
Nabo	8.208	15.660	7.650	13.625	24.416
Total	18.558	29.105	19.939	37.515	93.518
CV (%)					
Mg nos sedimentos					
Milho	119	247	161	534	3.045
Aveia	256	408	619	774	945
Soja	79	118	292	677	2.287
Nabo	319	390	218	732	1.178
Total	772	1.160	1.288	2.716	7.452
CV (%)	71,0	61,3	54,3	69,1	78,2
Mg na água					
Milho	4.105	5.551	5.316	6.561	7.318
Aveia	327	817	498	858	2.126
Soja	580	793	560	1.736	2.189
Nabo	1.395	3.367	1.218	1.661	1.639
Total	6.407	10.528	7.592	10.816	13.272
CV (%)	77,3	57,1	80,4	80,1	77,2
Somatório das perdas - Mg					
Milho	4.224	5.798	5.477	7.095	10.363
Aveia	583	1.225	1.117	1.632	3.071
Soja	659	911	852	2.413	4.476
Nabo	1.714	3.757	1.438	2.393	2.817
Total	7.180	11.691	8.884	19.533	20.727

SD: semeadura direta; PR: preparo reduzido; RP: rotação de preparos; PC: preparo convencional; SC: solo sem cultivo; CV: coeficiente de variação. Fonte: o autor.

Ao analisar o somatório das perdas totais (sedimentos e água da enxurrada), tanto do Ca como do Mg, observa-se que os resultados variaram amplamente, principalmente entre os tratamentos com cultivo do solo, em relação ao solo sem cultivo. O tratamento SC apresentou as maiores perdas, mesmo com teores no solo inferiores aos demais tratamentos. Este resultado era esperado devido às elevadas perdas de solo nesse tratamento, principalmente nos cultivos de primavera/verão, onde as chuvas erosivas representam, aproximadamente, 62 % da média anual, durante o período da pesquisa. Entre os tratamentos com cultivo, o PR apresentou maiores perdas de Ca, sendo 2,1, 1,9 e 1,1 vezes maior do que a RP, SD e PC, respectivamente, contrariando dados obtidos por Burwell et al. (1975) e Laflen & Tabatabai (1984). Este resultado se deve, em parte, ao alto teor do elemento (nos sedimentos da erosão e na enxurrada), combinada à elevada perda de solo e água, na cultura do nabo (Tabela 26), devido ao fato das chuvas mais intensas e erosivas terem ocorrido no início do seu ciclo, período onde a cobertura do solo pela parte aérea ainda era baixa, em relação as demais culturas. Na cultura do nabo, as perdas totais de Mg também foram elevadas, sendo 1,6 vezes maior do que a SD e 1,3 maior do que a RP, porém, representou apenas 58 % do valor encontrado para o PC, concordando com Burwell et al. (1975).

8. CONCLUSÕES

1. Os atributos do solo são influenciados pelo cultivo e manejo; na semeadura direta, na camada superficial a densidade do solo e a estabilidade de agregados são maiores do que no preparo convencional, enquanto, a macroporosidade é menor; na superfície do solo aumentam mais os teores CO, P e K na semeadura direta do que no preparo convencional.

2. As perdas de solo e água por erosão hídrica são influenciadas pelo cultivo e manejo; a semeadura direta reduz as perdas de solo em 81 % em relação ao preparo convencional, enquanto, as perdas de água são reduzidas em 13 %; o preparo convencional com cultivo do solo reduz as perdas de solo em 97 % em relação ao mesmo tipo de preparo sem cultivo, enquanto, as perdas de água são reduzidas em 14 %; entre o preparo reduzido e a rotação de preparos, as diferenças de perdas de solo e de água são menores do que entre os outros sistemas de manejo do solo.

3. Os teores de CO, P e K na enxurrada da erosão hídrica são influenciados pelo cultivo e manejo do solo; os teores nos sedimentos e, no caso da água da enxurrada para o P e K, são maiores na semeadura direta do que no preparo convencional; no caso do P e K, os teores são expressivamente maiores nos sedimentos do que na água, em especial na semeadura direta; as diferenças de teores entre tratamentos e entre sedimentos e água, para o caso do Ca e Mg, são menores do que para o caso do P e K.

4. As perdas totais de CO, P, K, Ca e Mg na enxurrada da erosão hídrica são influenciadas pelo cultivo e manejo do solo; as perdas seguem a ordem crescente: semeadura direta; rotação de reparos; preparo reduzido; preparo convencional; e, no preparo convencional com

cultivo as perdas são maiores do que no mesmo preparo sem cultivo.

5. A aplicação da dose de 50 m³ de dejetos líquidos de suínos na superfície do solo, em uma única vez no início de cada um dos quatro cultivos em diferentes sistemas de manejos, melhora os atributos físicos e químicos do solo e diminui a erosão hídrica, em comparação ao histórico no período de 20 anos que antecedeu esta pesquisa.

9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, M. V. et al. Macrofauna do solo influenciada pelo uso de fertilizantes químicos de dejetos de suínos no oeste do Estado de Santa Catarina. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 32, p. 589-598, 2008.

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. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v.32, p.2145-2155, 2008.

ANDREOLA, F. et al. Propriedades químicas de uma terra roxa estruturada influenciadas pela cobertura vegetal de inverno e pela adubação orgânica e mineral. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 24, p. 609-620, 2000.

ANUÁRIO ESTÁTISTICO - SUINOCULTURA. Embrapa Suínos e Aves - Documentos 146. Concórdia, p. 29. 2011.

ARRUDA, C.A.O. Atributos químicos e físicos do solo influenciados pela aplicação de dejetos suínos em lavoura sob plantio direto. Lages – SC, 2007, 48 p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo). Centro de Ciências Agroveterinárias /Universidade do Estado de Santa Catarina.

ASSISTAT 7.6 beta. Assistência Estatística. Responsável Dr. Francisco de Assis Santos e Silva . DEAG-CTRN-UFCG, Campina Grande –PB, Brasil, Registro INPI 0004051-2. Disponível em :<http://assistat.com/indexp.html>. Acesso em 05/04/2015.

ASSMANN, J. M. et al. Produção de matéria seca de forragem e acúmulo de nutrientes em pastagem anual de inverno tratada com esterco líquido de suínos. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 39, n. 8, p. 2408-2416, 2009.

BARILLI, J. Atributos de um Latossolo Vermelho sob aplicação de resíduos de suínos. 2005. 77 p. Tese (Doutorado). Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu.

BARROWS, H.L., Kilmer, V.J., 1963. Plant nutrient losses from soil by water erosion. *Adv. Agron.* 15, 303–316.

BASSO, C.J. et al. Dejeito líquido de suínos: II – perdas de nitrogênio e fósforo por percolação no solo sob plantio direto. *Ciência Rural*, Santa Maria, v.35, n.6, p.1234-1242, 2005.

BAZZANO, M.G.P.; ELTZ, F.L.F. & CASSOL, E.A. Erosividade, coeficiente de chuva, padrões e período de retorno das chuvas de Quaraí, RS *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.31, p.1205-1217, 2007.

BERTOL, I. et al. Escoamento superficial em diferentes sistemas de manejo em um Nitossolo Háplico típico. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v. 12, n. 3, p. 243-250, 2008.

BERTOL, O.J. Contaminação da água de escoamento superficial e da água percolada pelo efeito de adubação mineral e adubação orgânica em sistema de semeadura direta. Curitiba, 2005. Tese (Doutorado em Ciências

Florestais) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

BERTOL, I.; LEITE, D.; GUADAGNIN, J.C. & RITTER, S.R. Erosão hídrica em um Nitossolo Háplico submetido a diferentes sistemas de manejo sob chuva simulada. II – perdas de nutrientes e carbono orgânico. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.28, p.1045-1054, 2004.

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

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. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. Viçosa, v.21, n.3, p.409-418, 1997.

BERTOL, I. Erosão hídrica em cambissolo húmico distrófico sob diferentes preparos do solo e rotação de cultura. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.18, p.267-271, 1994b.

BERTONI, J. & LOMBARDI NETO, F. *Conservação do solo*. 7.ed. São Paulo, Ícone, 2010. 355p.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. *Conservação do solo*. 5. ed. São Paulo: Ícone, 2005.355 p.

BERTONI, J., PASTANA, F.I. Relação chuvas-perdas por erosão em diferentes tipos de solos. *Bragantia*, Campinas, v.23, p.3-11, 1964.

BERWANGER, A. L.; CERETTA, C. A.; SANTOS, R. Alterações no teor de P no solo com aplicação de dejetos líquidos de suínos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.32, p.2525-2532, 2008.

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 cultivo sob chuva natural. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.27, p.509-517, 2003.

BLAKE, G.R. & HARTGE, K.H. Bulk Density. In: KLUTE, A., ed. *Methods of soil analysis - physical and mineralogical methods*. 2.ed. Madison, ASA – SSSA, 1986. p.363-375.

BRAIDA, J.A. Relações da erosão em entre-sulcos com resíduos vegetais em cobertura e erosão em sulcos em um solo podzólico vermelho escuro. Porto Alegre, UFRGS, 1994. 152p. (Dissertação de Mestrado).

BROWN, L.C. & FOSTER, G.R. Storm erosivity using idealized intensity distributions. *Trans. of the ASAE*, 30: 379-386, 1987.

BURWELL, R.E; ALLMARAS, R.R., AMENYA, M.A. field measurement of total porosity and surface microrelief of soils. *porc. soil Sci. Soc. Am.*, Madison, 27:697-700, 1963.

CABEDA, M.S.V. Computations of storms EI values. West Lafayette, Purdue University, 1976. 6p. (Não Publicado)

CAOVILLA, F. A. et al. Características químicas de solo cultivado com soja e irrigação com água residuária da suinocultura. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.14, n.7, p.692-697, 2010.

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. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.32, p.1239-1251, 2008.

CASSOL, E.A.; MARTINS, D.; ELTZ, F.L.; LIMA, V.S. DE; & BUENO, A.C. Erosividade e padrões hidrológicos das chuvas de Ijuí (RS) no período de 1963 a 1993. *Revista Brasileira de Agronomia*, v.15, p.220-231, 2007.

CASTRO FILHO, C.; CAVIGLIONE, J.H. & RUFINO, R.L. Determinação do potencial erosivo das chuvas da bacia do rio Paraná. 1ª. aproximação. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 13., Ilhéus, 2000. Anais. Ilhéus, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. CD-ROM

CASTRO, O.M.; LOMBARDI NETO, F.; QUAGGIO, J.A.; MARIA, I.C.; VIEIRA, S.R. & DECHEN, S.C.F. Perdas por erosão de nutrientes vegetais na sucessão soja/trigo em diferentes sistemas de manejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.10, p.181-308, 1986a.

CERETTA, C. A. et al. Dejeito líquido de suínos: I perdas de nitrogênio e P na solução escoada sob plantio direto. *Ciência Rural*, v 35, n. 6, p. 1296-1304, nov-dez 2005.

COGO, N. P.; LEVIEN, R.; SCHWARZ, R. A. Perdas de solo e água por erosão hídrica influenciadas por métodos

de preparo, classes de declividade e níveis de fertilidade do solo. R. Bras. Ci. Solo, Viçosa, v.27, p.743-753, 2003.

COGO, N.P. Conceitos e princípios científicos envolvidos no manejo de solo para fins de controle da erosão hídrica. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 21., Campinas, 1988. Anais... Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p.251-262, 1988.

COGO, N.P. Effect of residue cover, tillage induced roughness, and slope length on erosion and related parameters. Indiana, USA, 1981, 346p. Thesis (Ph.D. – Soil science) Purdue University,

COGO, N.P. Uma contribuição à metodologia de estudo das perdas de erosão em condições de chuva natural. I. Sugestões gerais, medição dos volumes, amostragem e quantificação de solo e água da enxurrada (1ª aproximação). In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA SOBRE CONSERVAÇÃO DO SOLO, 2., Passo Fundo, 1978. Anais. Passo Fundo, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, p.75-98, 1978.

CORRÊA, J. C. et al. Aplicações de Dejetos de Suínos e as Propriedades do Solo. Concórdia, SC: Embrapa Suínos e Aves. Circular Técnica v.58, 18 p, 2011.

CORRECHEL, V. (Correchel, 2003). Avaliação de índices de erodibilidade do solo através da técnica da técnica da análise de redistribuição do “Follout” Do ¹³⁷Cs. 2003. Tese de doutorado. Universidade de São Paulo.

CQFS/ RS-SC. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Núcleo Regional Sul. Comissão de Química e de

Fertilidade do Solo -RS/SC. Manual de adubação e de calagem para os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina. 10 ed. Porto Alegre, 2004. 400p.

CRISTANI, J. Efeito do óxido de zinco (ZnO) no controle da diarreia pós-desmame em leitões experimentalmente desafiados com *Escherichia coli*. Pelotas, Universidade Federal de Pelotas, 1997. 74p. (Tese de Mestrado)

CRUSCIOL, C.A.C. et al. Persistência de palhada e liberação de nutrientes do nabo forrageiro no plantio direto. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.40, n.2, p.161-168, 2005. Acesso em: 17 abr. 2015..

DAL BOSCO, T.C. Poluição difusa decorrente da aplicação de água residuária da suinocultura em solo cultivado com soja sob condições de chuva simulada. Cascavel, 2007. 128 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) –Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas. Universidade Estadual do Oeste do Paraná.

DEDECEK, R. A.; RESCK, D. V. S.; DE FREITAS JR., E. Perdas de solo água e nutrientes por erosão em Latossolo vermelho escuro nos cerrados em diferentes cultivos sob chuva natural. *R. Bras. Ci. Solo*, Campinas, v. 10, p. 265-272, 1986.

DIETER, J. Poluição difusa por P devido a aplicação de água residuária da suinocultura sob condição de chuva simulada. Cascavel, 2009. 51 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) –Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas. Universidade Estadual do Oeste do Paraná.

DISSMEYER, G.E. & FOSTER, G.R. Estimating the cover management factor (C) in the universal soil loss equation for forest conditions. *J. Soil Water Conserv.*, 36:235-240, 1981.

DULEY, F.L. Surface factors effecting the rate of intake of water by soils. *Soil Sci. Soc. of Am. Proc.*, v. 4, p. 60-64, 1939.

ELLISON, W. D. Studies of raindrop erosion. *Agricultural Engineering, St Joseph*, v. 25, n. 4, p. 131-181, Apr. 1947.

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. *Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas*, v.13, n. 2, p. 259-267, maio/ago. 1989.

EMBRAPA- Empresa Brasileira De Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Solos do Estado de Santa Catarina. Rio de Janeiro, 2004. 726p. (Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 46)

EMBRAPA-Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de solo. 2.ed. Documentos, 1. Rio de Janeiro: Embrapa CNPS, 1997. 212p.

FABBRIS, C. Aplicação de dejetos líquidos de suínos e manejo do solo na sucessão aveia/milho. *Pesq. Agropec. Trop.*, Goiânia, v. 44, n. 2, p. 205-212, abr./jun. 2014.

FATMA - Fundação do Meio Ambiente de Santa Catarina. Instrução Normativa 11. Suinocultura. [2000]. Disponível em: http://www.fatma.sc.gov.br/index.php?option=com_docman&task=cat_view&gid=32&Itemid=83>. Acesso em: 10/02/2015.

FLANAGAN, D. C.; ASCOUGH II, J. C.; NICKS, A. D.; NEARING, M. A.; LAFLEN, J. M. Overview of the WEPP erosion prediction model. In: FLANAGAN, D. C.; NEARING, M. A. (Eds.). Water erosion prediction project: hillslope profile and watershed model documentation. West Lafayette: United States Department of Agriculture/National Soil Erosion Research Laboratory, 1995. p. 1.1-1.12 (NSERL Report, 10)

FOSTER, G.R.; JOHNSON, C.B., MOLDENHAUER, W.C. Hydraulics of failure of unanchored cornstalk and wheat straw mulches for erosion control. Trans. of the ASAE, p. 940-947, 1982.

GASCHO, G.J.; WAUCHOPE, R.D. & DAVIS, J.G. Nitratenitrogen, soluble, and bioavailable phosphorus runoff from simulated rainfall after fertilizer application. Soil Sci, Soc. Am. J., 62:1711-1718, 1998.

GATIBONI, L. C. et al. Formas de P no solo após sucessivas adições de dejetos líquidos de suínos em pastagem natural. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 32, p. 1753-1761, 2008.

GIACOMINI, S.J.; AITA, C.; JANTALIA, C.P.; URQUIAGA, S.; SANTOS, G.F. dos. Imobilização do nitrogênio amoniacal de dejetos líquidos de suínos em plantio direto e preparo reduzido do solo. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.33, p.41-50, 2009.

GIACOMINI, S.J.; AITA, C. Cama sobreposta e dejetos líquidos de suínos como fonte de nitrogênio ao milho. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.32, p.195-205, 2008.

GONZATTO, R. et al. Volatilização de amônia e emissão de óxido nítrico após aplicação de dejetos líquidos de suínos em solo cultivado com milho. Ciência Rural. Santa Maria, v.43, n.9, p.1590-1596, set, 2013.

GUADAGNIN, J.C. Perdas de nutrientes e carbono orgânico pela erosão hídrica, em um Cambissolo Húmico alumínico léptico submetido a diferentes sistemas de preparo e cultivo do solo. Lages, Universidade do Estado de Santa Catarina, 2003. 142p. (Tese de Mestrado)

HARTWIG, R.O & LAFLEN, I.M. A meter stick method for measuring crop residue cover. J. Soil Water Conserv., 33:90-91, 1978.

HAYNES, R.J. & SWIFT, R.S. Stability of soil aggregates in relation to organic constituents and soil water content. J. Soil Sci., 41:73-83, 1990.

HICKMANN, C.; ELTZ, F.L.F.; CASSOL, E.A. & COGO, C.M. Erosividade das chuvas em Uruguaiana, RS, determinada pelo índice EI_{30} , com base no período de 1963 a 1991. R. Bras. Ci. Solo, 32: 825–831, 2008.

HUDSON, N.W. Soil conservation. 3.ed. Ithaca, Cornell University Press. New York. P.392, 1995.

JIAO, Y.; Whalen, J, K.; Hendershot, W. H. No-tillage and manure applications increase aggregation and improve

nutrient retention in a sandy-loam soil. *Geoderma*, v.134, n.1 , p.24- 33, 2006.

KEMPER, W. D. & CHEPIL, W. S. Size distribution of aggregates. In: BLACK, C.A.; EVANS, D.D.; WHITE, J.L.; ENSMINGER, L.E. & CLARCK, F.E., eds. *Methods of soil analysis. Part 1*, Madison: American Society of Agronomy, p. 499-510, 1965.

KIEHL, J. E. *Fertilizantes orgânicos*. Piracicaba: Agronômica Ceres, 1985. 492 p.

KOHNKE, II. *Soil Physics*. New York, McGraw Hill, 1968. 224p.

LAFLEN, J.M. & TABATABAI, M.A. Nitrogen and phosphorus losses from corn-soybeans rotation as affected by tillage practices. *Trans. Am. Soc. Agric. Eng.*, 27:58-63, 1984.

LARSON, W.E. & GILL, W.R. Soil physical parameters for designing new tillage systems. In: NATIONAL CONSERVATION TILLAGE CONFERENCE, Madison, 1973. *Proceedings*. Madison, Soil Science Society of America, 1973. p.13-22.

LEITE, D.; BERTOL, I.; GUADAGNIN, J. C.; SANTOS, E. J.; RITTER, S.R. Erosão hídrica em um Nitossolo Háplico submetido a diferentes sistemas de manejo sob chuva simulada. I - Perdas de solo e água. *R. Bras. Ci. Solo*, Viçosa, v.28, n.5, p.1033-1044, 2004.

MECABÔ, J. Influência de uma aplicação de dejetos líquido de suínos sobre atributos

do solo e erosão hídrica em um nitossolo Bruno. Lages. Universidade do Estado de Santa Catarina, 2013. 66f. (Tese de Mestrado)

MELLEK, J.E.; DIECKOW, J.; SILVA, V.L.; FAVARETTO, N.; PAULETTI, V.; VEZZANI, F.M. & SOUZA, J.L. Dairy liquid manure and no-tillage: Physical and hydraulic properties and carbon stocks in a Cambisol of Southern Brazil. *Soil Till. Res.*, 2010. (No Prelo)

MELLO, E.L.; BERTOL, I.; ZAPAROLLI, V. & CARRAFA, M.R. Perdas de solo e água em diferentes sistemas de manejo de um nitossolo háplico submetido à chuva simulada. *R. Bras. Ci. Solo*, 27:901-909, 2003.

MENTEN, J.F.M.; MIYANDA, V.S. & CITRONI, A.R. Suplementação de alto nível de zinco na dieta de leitões. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, Lavras, 1992. Anais. Lavras, Sociedade Brasileira de Zootecnia, 1992. p.368.

MEYER, L. D.; FOSTER, G. R. & NIKOLOV, S. Effect of flow rate and canopy on rill erosion. *Transactions of American Society of Agricultural Engineers*, 18:905-911, 1975.

MORI, H. F. Perdas de solo, água e nutrientes em sistema de plantio direto sob aplicação de dejetos líquidos de bovinos e chuva simulada. Curitiba, 2008. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

OLIVEIRA, P.T.S.; WENDLAND, E. & NEARING, M.A. Rainfall erosivity in Brazil: A review. *Catena*, 100:139-147, 2012.

OLIVEIRA, P.A.V. Aspectos práticos do manejo de dejetos de suínos: Manejo da água
Influência no volume de dejetos produzidos.
Florianópolis: EPAGRI/EMBRAPA-CNPSA,p.29-33, 1995.

PAIVA, R.C.D.; COLLISCHONN, W.; TUCCI, C.E.M. Large scale hydrologic and hydrodynamic modeling using limited data and a GIS based approach. *J. Hydrol.*, 406, pp. 170–181, 2011.

PAIVA, J. B. D.; PAIVA, E. M. C. D.; PARANHOS, R. M.; EMMER, R. Curvas Chave de Vazões e de Sedimentos de Pequenas Bacias Hidrográficas. O Que Representam? In: Encontro Nacional de Engenharia de Sedimentos, Caracterização quali-quantitativa da produção de sedimentos, Santa Maria, 2000.

PANACHUKI, E.; BERTOL, I.; ALVES SOBRINHO, T.; OLIVEIRA, P. T. S.; RODRIGUES, D. B. B. Perdas de solo e de água e infiltração de água em Latossolo vermelho sob sistemas de manejo. *R. Bras. Ci. Solo*, Viçosa, v. 35, p.1777-1785, 2011.

PANDOLFO , C. M.; CERETTA, C. A. Aspectos econômicos do uso de fontes orgânicas de nutrientes associadas a sistemas de preparo do solo. *Ciência Rural*, v. 38, n. 6, p. 1572 - 1580, setembro 2008.

PARRY, R. Agricultural phosphorus and water quality: A U.S. environmental protection agency perspective. *Journal of Environmental Quality*, v.27, p.258-261, 1998.

PELES, D. Perdas de solo, água e nutrientes sob aplicação de gesso e dejetos líquidos de suínos. Curitiba, 2007. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

Pereira, S. B.; Pruski, F. F.; Silva, D. D.; Matos, A. T. Desprendimento e arraste do solo pelo escoamento superficial. *Revista Brasileira Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.7, n.3, p.423-429, 2003.

PERDOMO, C. C.; LIMA, G. J. M. M.; NONES, K. Produção de suínos e meio ambiente. 9º Seminário Nacional de Desenvolvimento da Suinocultura, Gramado, RS, p. 8-24, 2001.

POTE, D.H.; DANIEL, T.C. & SHARPLEY, A.M. Relating extractable soil phosphorus to phosphorus losses in runoff. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 60:855-859, 1996.

QUEIROZ, F. M. et al. Características químicas de solo submetido ao tratamento com esterco líquido de suínos e cultivado com gramíneas forrageiras. *Ciência Rural*, v. 34, n. 5, set-out 2004

RAUBER, L.P. Atributos físicos, químicos e frações granulométricas da matéria orgânica de um solo em sistemas de uso com fertilizantes orgânicos. Lages – SC, 2011, 65 p. Dissertação (Mestrado em Manejo do Solo). Centro de Ciências Agroveterinárias /UDESC.

RHEM, G.; LAMB, J.; SCHMITT, M.; RANDAL, G. & BUSMAN, L. Agronomic and Environmental management of phosphorus. University of Minnesota. <[http://www. scirus.com](http://www.scirus.com).> acesso em 20 de set. 5p. 2002.

RICHARDSON, C.W. & KING, K.W. Erosion and nutrient losses from zero tillage on a clay soil. J. Agric. Eng. Res., 61:81- 86, 1995.

RUFINO, R.L. Avaliação do potencial erosivo da chuva para o Estado do Paraná: segunda aproximação. R. Bras. Ci. Solo, 10: 279-281, 1986.

SANTOS, C.N. El Niño, La Niña e a erosividade das chuvas no Estado do Rio Grande do Sul. Pelotas, Universidade Federal de Pelotas. 2008. 138p. (Tese de Doutorado).

SANTOS, G. de A.; CAMARGO, F. A. O. Fundamentos da matéria orgânica: ecossistemas tropicais e subtropicais. Porto Alegre: Gênese. p. 69-90, 1999.

SCHERER, E.E., BALDISSERA, I.T. & NESI, C.N. Propriedades químicas de um Latossolo Vermelho sob plantio direto e adubação com esterco de suínos. R. Bras. Ci. Solo, 31:123-131, 2007.

SCHICK, J. Fatores R e K da USLE e perdas de solo e água em sistemas de manejo sobre um Cambissolo Húmico em Lages, SC. 2014. – Lages, 2014. . Tese (Doutorado em Manejo do Solo) - Centro de Ciências Agroveterinárias /Universidade do Estado de Santa Catarina.

SCHICK, J.; BERTOL, I.; BATISTELA, O. ; BALBINOT JÚNIOR, 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, Viçosa, v.24, p.427- 436, 2000.

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, 2000b.

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)

SEGANFREDO, M.A. Efeito de dejetos líquidos de suínos sobre algumas características físicas do solo. In: REUNIÃO SUL-BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO, 2., 1998, Santa Maria. Anais... Santa Maria: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1998.

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.

SILVA, A.M.; SILVA, M.L.N.; CURI, N.; AVANZI, J.C. & FERREIRA, M.M. Erosividade da chuva e erodibilidade de Cambissolo e Latossolo na região de Lavras, Sul de Minas Gerais. R. Bras. Ci. Solo, 33: 1811-1820, 2009.

SILVA, M. A. S. et al. Propriedades físicas e teor de carbono orgânico de um argissolo vermelho sob distintos

sistemas de uso e manejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 30, p. 329-337, 2006.

SILVA, C. G.; SOBRINHO, T.A.; VITORINO, A.C.T.; CARVALHO, D.F. Atributos físicos, químicos e erosão hídrica entressulcos sob chuva simulada, em sistemas de plantio direto e convencional. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v.25, n.1, p,144-153, 2005.

SKALISZ, R. APLICAÇÃO DE DEJETO LIQUÍDO BOVINO A LONGO PRAZO EM PLANTIO DIRETO: PERDAS DE ÁGUA, SOLO E NUTRIENTES VIA ESCOAMENTO SUPERFICIAL. Curitiba, 2013. Dissertação (Doutorado em Ciências Florestais) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

TEDESCO, M.J.; IANELLO, C.; BISSANI, C.A.; BOHNEN, H. & VOLKWEISS, S.J.T6G5Análise de solos, plantas e outros materiais. 2. ed. Porto Alegre: UFRGS, 1995. 174p.

WAGNER, C.S. & MASSAMBANI, O. Análise da relação intensidade de chuva-energia cinética de Wischmeier & Smith e sua aplicabilidade à região de São Paulo. *R. Bras. Ci. Solo*, 12: 197-203, 1988.

WALKLEY, A. & BLACK, I.A. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Sci.*, v.37, p.29-38, 1934.

WISCHMEIER, W.H. & SMITH, D.D. Predicting rainfall erosion losses: A guide to conservation planning. Washington, USDA, 1978. 58p. (Agriculture Handbook, 537).

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

WREGE, M.S.; STEINMETZ, S.; REISSER JÚNIOR, C. & ALMEIDA, I.R. (Editores técnicos) Atlas climático da Região Sul do Brasil: Estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul. Pelotas: Embrapa Clima Temperado; Colombo: Embrapa Florestas, v.1. 332 p, 2011.

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

ZOBISCH, M.A.; RICHTER, C.; HEILIGTAG, B. & SCHLOTT, R. Nutrient losses from cropland in the Central Highlands of Kenya due to surface runoff and soil erosion. *Soil Till Res.*, 33:109-116, 1995.

10 ANEXOS

Anexo 1. Massa seca da parte aérea das culturas, cobertura do solo e produto de grãos nos quatro cultivos (média das repetições).

Tratamento	Massa seca Kg ha ⁻¹	Cobertura do sol %	Grãos Kg ha ⁻¹
Milho			
SD	10.200	84	5.580
PR	9.210	79	5.230
RP	8.720	70	4.740
PC	7.240	59	3.908
CV (%)	10,1	12,9	16,4
Aveia			
SD	7.010	95	-
PR	6.850	82	-
RP	6.100	76	-
PC	5.600	61	-
CV (%)	13,3	8,1	
Soja			
SD	3.240	89	2.520
PR	3.120	78	2.448
RP	3.080	76	2.500
PC	2.170	23	2.280
CV (%)	8,4	5,3	12,8
Nabo			
SD	5.740	91	-
PR	4.180	84	-
RP	4.090	70	-
PC	3.100	46	-
CV(%)	15,5	7,7	

SD: semeadura direta; PR: preparo reduzido; RP: rotação de preparos; PC: preparo convencional; SC: solo sem cultivo; CV: coeficiente de variação. Fonte: o autor.

Anexo 2. Teores de P extraível do solo nas quatro camadas de profundidade de um Cambissolo Húmico aluminico submetido a diferentes sistemas de cultivo e manejo (média de duas repetições).

Cultura	SD	PR	RP	PC	SC
	.....mg kg ⁻¹				
	1				
Antes exp.	22,9	17,2	15,1	6,5	3,7
Milho	16,8	16,6	13,7	4,9	3,2
Aveia	39,9	16,7	15,3	5,3	2,7
Soja	19,9	19,1	14,3	7,9	5,4
Nabo	23,3	14,1	13,8	6,0	4,5
Média	24,5	16,6	14,3	6,0	3,9
CV (%)	18,8	15,1	20,0	17,8	18,4
	2,5 - 5				
Milho	14,6	14,3	11,9	2,2	2,2
Aveia	33,1	13,7	13,7	3,4	1,9
Soja	16,1	15,8	12,1	5,7	3,3
Nabo	20,4	12,2	10,9	4,9	2,9
Média	21,0	14,3	12,1	5,4	2,6
CV (%)				5,4	
	5 - 10				
Milho	12,1	11,2	9,9	2,3	1,9
Aveia	21,2	10,2	11,7	2,1	1,3
Soja	14,3	12,6	10,2	4,1	2,2
Nabo	15,1	10,5	8,1	3,9	1,9
Média	15,7	11,1	9,9	3,1	1,8
CV (%)					
	10 - 20				
Milho	9,1	8,4	6,1	1,9	1,4
Aveia	14,3	7,2	9,6	2,1	1,1
Soja	10,1	8,9	7,7	2,9	1,5
Nabo	9,5	5,6	6,1	2,7	1,3
Média	10,4	7,5	7,3	2,4	1,3
CV (%)					

SD: semeadura direta; PR: preparo reduzido; RP: rotação de preparos; PC: preparo convencional; SC: solo sem cultivo; CV: coeficiente de variação. Fonte: o autor.

Anexo 3. Teores de K extraível do solo nas quatro camadas de profundidade de um Cambissolo Húmico aluminico submetido a diferentes sistemas de cultivo e manejo (média de duas repetições).

Cultura	SD	PR	RP	PC	SC
	.....mg kg ⁻¹				
	1				
Antes exp.	222	157	122	95	69
Milho	286	289	122	206	229
Aveia	292	219	265	251	80
Soja	268	276	287	161	84
Nabo	271	270	248	232	88
Média	231	262	246	189	90
CV (%)					
			2,5 – 5		
Milho	255	276	112	199	210
Aveia	261	209	254	232	67
Soja	235	249	237	151	61
Nabo	259	247	225	209	59
Média	252	245	207	197	99
CV (%)				5,4	
			5 – 10		
Milho	225	250	101	183	199
Aveia	238	199	219	203	50
Soja	221	231	210	121	57
Nabo	241	233	199	171	55
Média	231	228	182	169	90
CV (%)					
			10 - 20		
Milho	210	242	99	151	167
Aveia	215	176	201	178	48
Soja	209	205	185	101	50
Nabo	233	200	167	123	50
Média	216	205	163	138	78
CV (%)					

SD: semeadura direta; PR: preparo reduzido; RP: rotação de preparos; PC: preparo convencional; SC: solo sem cultivo; CV: coeficiente de variação. Fonte: o autor.