

NEURO HILTON WOLSCHICK

**REFLEXOS NA EROSÃO HÍDRICA E NOS ATRIBUTOS FÍSICOS E QUÍMICOS
DE UM CAMBISSOLO HÚMICO APÓS A CONVERSÃO DE SISTEMAS DE
MANEJO PARA A SEMEADURA DIRETA**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, do Centro de Ciências Agroveterinárias, da Universidade do Estado de Santa Catarina CAV - UDESC, como requisito parcial para a obtenção do grau de Doutor em Ciência do Solo.

Orientador: Prof. Dr. Ildegardis Bertol

**LAGES
2018**

Ficha catalográfica elaborada pelo(a) autor(a), com
auxílio do programa de geração automática da
Biblioteca Setorial do CAV/UDESC

Wolschick, Neuro Hilton
Reflexos na erosão hídrica e nos atributos físicos
e químicos de um Cambissolo Húmico após a conversão
de sistemas de manejo para a semeadura direta /
Neuro Hilton Wolschick. - Lages , 2018.
138 p.

Orientador: Ildegardis Bertol
Co-orientador: Osmar Klauberg Filho
Tese (Doutorado) - Universidade do Estado de
Santa Catarina, Centro de Ciências
Agroveterinárias, Programa de Pós-Graduação em
Ciência do Solo, Lages, 2018.

1. Degradação do solo. 2. plantas de cobertura.
3. manejo do solo. 4. perda de nutrientes. I.
Bertol, Ildegardis. II. Klauberg Filho, Osmar. ,
.III. Universidade do Estado de Santa Catarina,
Centro de Ciências Agroveterinárias, Programa de
Pós-Graduação em Ciência do Solo. IV. Título.

NEURO HILTON WOLSCHICK

**REFLEXOS NA EROSÃO HÍDRICA E NOS ATRIBUTOS FÍSICOS E QUÍMICOS
DE UM CAMBISSOLO HÚMICO APÓS A CONVERSÃO DE SISTEMAS DE
MANEJO PARA A SEMEADURA DIRETA**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, do Centro de Ciências Agroveterinárias, da Universidade do Estado de Santa Catarina CAV - UDESC, como requisito parcial para obtenção do grau de Doutor em Ciência do Solo.

Banca Examinadora

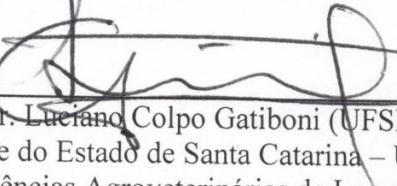
Orientador:


Prof. Dr. Ildegaridis Bertol (UFRGS)
Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC
Centro de Ciências Agroveterinárias de Lages - CAV

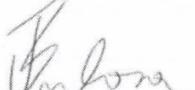
Membro interno:


Prof. Dr. David José Miquelluti (USP)
Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC
Centro de Ciências Agroveterinárias de Lages - CAV

Membro interno:


Prof. Dr. Luciano Colpo Gatiboni (UFSM)
Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC
Centro de Ciências Agroveterinárias de Lages - CAV

Membro externo:


Prof. Dr. Fabrício Tondello Barbosa (CAV-UDESC)
Universidade estadual de Ponta Grossa - UEPG
Campus Uvaranas

Membro externo:


Prof. Dr. Leandro Hahn (UFRGS)
Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina - EPAGRI
Estação Experimental Caçador

Dedico essa Tese a meus pais Elstor e Lourdes, pelos ensinamentos e exemplos repassados e por todo amor e carinho que são primordiais para alcançar meus objetivos.

AGRADECIMENTOS

A DEUS pela vida e pela oportunidade de estar terminando mais uma etapa muito importante na minha caminhada profissional.

A minha família pelo apoio e compreensão por esse período de afastamento, em especial meus pais Lourdes e Elstor.

A UDESC – CAV pela oportunidade de cursar o doutorado, igualmente a CAPES e PROMOP pela concessão da bolsa de estudos.

Ao meu orientador professor Dr. Ildegardis Bertol, pelas orientações nesse projeto e por todo apoio e conhecimentos transmitidos, igualmente aos meu coorientador Osmar Klauberg-Filho e demais professores do programa de pós graduação em Ciências do Solo.

Ao Professor Dr. Heinz Borg, por oportunizar a realização de doutorado sanduíche na Alemanha junto á Martin-Luther-Universitat, aos alunos, e à senhora Martina Wolter, os quais, possibilitaram uma experiência extraordinária na Alemanha, bem como todo apoio durante os 4 meses. Aos amigos Vander e Danieli Kaufmann, pelo intermédio junto ao Professor Borg para que se tornasse possível a realização deste projeto.

Ao professor Dr. Fabrício Tondello Barbosa pela orientação no mestrado e início do doutorado, por todo aprendizado compartilhado.

Aos meus colegas e estagiários do grupo de pesquisa Uso e Conservação do Solo e da Água, que se disponibilizaram para ajudar nas atividades no campo e laboratório, principalmente durante o período no qual estive no doutorado sanduíche, em especial a amiga Bárbara Bagio, que gentilmente assumiu a coordenação do projeto durante esse período.

Aos demais amigos da UDESC-CAV, pela amizade durante este período de pós graduação.

RESUMO

Mudança no uso da terra e manejo do solo oportunizam melhorias na qualidade do solo refletindo-se na diminuição da erosão. Objetivou-se avaliar alterações nos atributos físicos e químicos do solo e nas perdas de solo, água e nutrientes por erosão hídrica, após mudar manejos de solo com mobilização mecânica para semeadura direta, em pesquisa conduzida em Lages/SC entre 2015 e 2018. O solo classificado como Cambissolo Húmico, sob condição de chuva natural. Tratamentos: SD1) semeadura direta consolidada (testemunha); SD2) semeadura direta implantada após solo cultivado com rotação de preparamos; SD3) semeadura direta implantada após solo cultivado com preparo reduzido; SD4) semeadura direta implantada após solo cultivado com preparo convencional; e SD5) semeadura direta implantada após solo descoberto e sem cultivo. Durante o outono/inverno cultivou-se consórcio de aveia preta, nabo forrageiro e ervilhaca comum e, durante a primavera/verão, o milho, em todos os tratamentos. A transição de manejos ocorreu após 27 anos de condução dos mencionados manejos. O delineamento experimental inteiramente casualizado, com duas repetições, em parcelas com dimensões de 3,5 x 22,1 m e declividade média de 0,102 m m⁻¹. Avaliou-se as perdas de solo, água e os teores de P, K, Ca, e Mg na água, nos sedimentos dos eventos de chuva erosiva, durante três anos. Ao final de cada cultivo, avaliou-se a biomassa vegetal de parte aérea e, na cultura do milho, o rendimento de grãos. Efetuaram-se coletas de solo no início e ao final da pesquisa para verificar as alterações de densidade e porosidade do solo, estabilidade de agregados em água, grau de floculação da argila, resistência do solo à penetração mecânica, pH, P, K, Ca, Mg, Al e COT. Aplicou-se análise de variância quando as diferenças foram significativas, com as médias comparadas pelo teste de Tukey ($P<0,05$). Utilizou-se o programa ASSISTAT. Demais dados efetuou-se análise descritiva dos dados. Observou-se redução gradual nas perdas de solo, as perdas de água não seguiram a tendência do solo. Houve melhoria nos atributos físicos e químicos do solo nos tratamentos SD4 e SD5 ao longo da pesquisa. No entanto, o custo de produção proposto, gerou prejuízo financeiro na média das três safras de milho para os tratamentos SD4 e SD5. Este trabalho serve de sugestão para o estabelecimento de estratégia de recuperação de áreas degradadas pelo uso intensivo do solo agrícola.

Palavras-chave: Degradação do solo. Plantas de cobertura. Manejo do solo. Perda de nutrientes.

ABSTRACT

Land use change and soil management provide improvements in soil quality, reflecting erosion reduction. The objective of this study was to evaluate changes in soil physical and chemical attributes, and soil, water and nutrient losses of water erosion, after changing soil management with mechanical mobilization for no-till, in a research carried out in Lages / SC, between 2015 and 2018. O soil classified as Humic Cambisol under natural rainfall conditions. Treatments: SD1) no-tillage consolidated (control); SD2) no-tillage implanted after cultivated soil with rotation of preparations; SD3) no-tillage implanted after cultivated soil with minimum tillage; SD4) no-tillage implanted after cultivated soil with conventional tillage; and SD5) no-tillage implanted after bare soil and without cultivation. During the autumn / winter it was cultivated a consortium of black oats, forage turnip and common vetch, and during spring / summer, corn, in all treatments. The management transition occurred after 27 years. The experimental design was completely randomized, with two replications, in plots with dimensions of 3.5 x 22.1 m and average slope mean of 0.102 mm⁻¹. The soil, water and P, K, Ca, and Mg losses in water, sediments were evaluated in the erosive rainfall events during three years. At the end of each crop, the biomass of aerial part was evaluated, and, in the corn crop, the yield of grains. Soil samples were collected at the beginning and at the end of the study to verify the changes in soil density and porosity, aggregate stability in water, clay flocculation degree, soil resistance to mechanical penetration, pH, P, K, Ca , Mg, Al and COT. Analysis of variance was applied when the differences were significant, with the means compared by the Tukey test ($P <0.05$). Used the ASSISTAT program. More data was performed descriptive analysis of the data. It was observed a gradual reduction in soil losses, water losses did not follow the soil trend. There was an improvement in soil physical and chemical attributes in the SD4 and SD5 treatments throughout the research. However, the proposed cost of production, generated financial loss in the average of the three maize crops for treatments SD4 and SD5. This work serves as a suggestion for the establishment of a strategy for the recovery of degraded areas by intensive agricultural land use.

Key words: Soil degradation. Cover crops. Soil management. Nutrient loss.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Características físicas e químicas do Cambissolo Húmico Alumínico léptico de Lages (SC), referentes ao perfil no local do experimento.....	38
Tabela 2 - Médias históricas mensais de 1989 a 2012 de precipitação em volume, índice de erosividade e perdas de água em metros cúbicos por tratamento (SCHICK, 2014).....	40
Tabela 3 - Médias históricas mensais de 1989 a 2012 do fator de erodibilidade (K) e perdas de solo em toneladas por hectare e em mm por tratamento (SCHICK, 2014).	40
Tabela 4 - Médias históricas de 1989 a 2012 de precipitação em altura, índice de erosividade e perdas de água em porcentagem da chuva por tratamento (SCHICK, 2014).	41
Tabela 5 - Quantidades de calcário dolomítico e adubos aplicados em cada parcela para corrigir a acidez e elevar os teores de nutrientes para as mesmas condições em cada parcela experimental.....	42
Tabela 6 - Planilha de custo de recuperação química do solo da parcela 4, mantida na condição de solo sem cultivo, preparado com uma aração + duas gradagens duas vezes ao ano, sendo a superfície mantida permanentemente livre de vegetação..	50
Tabela 7 - Planilha de custo de produção da cultura do milho na parcela 4 na safra de 2015/16, para o Cambissolo Húmico para Lages, SC	51
Tabela 8 - Valores mensais do número e altura de chuvas erosivas, não erosivas e o total de chuvas e do EI ₃₀ das chuvas erosivas observados no período de 2015 a 2018 em Lages – SC.....	56
Tabela 9 - Número e altura de chuvas erosivas, não erosivas, total de chuvas e a erosividade pelo EI ₃₀ em MJ mm ha ⁻¹ h ⁻¹ nos períodos de cultivo entre os anos de 2015 e 2018 para Lages, SC.....	57
Tabela 10 - Número (N ^º) de chuvas erosivas e respectivas porcentagens em cada padrão de chuvas anuais em Lages – SC.....	57
Tabela 11 - Valores individuais da altura de chuvas erosivas em mm, fator de erosividade (R) das chuvas apresentado pelo índice EI ₃₀ em MJ mm ha ⁻¹ h ⁻¹ e perdas de solo observados no período de 2015 a 2018, (média de duas repetições) em Cambissolo Húmico submetido ao sistema de semeadura direta do solo em Lages – SC.....	58
Tabela 12 - Valores mensais de perdas de solo observados no período de 2015 a 2018, (média de duas repetições) em Cambissolo Húmico em Lages – SC.....	61
Tabela 13 - Valores de perdas de solo por ciclo de cultivo observados no período de 2015 a 2018, (média de duas repetições) em Cambissolo Húmico em Lages – SC.....	63
Tabela 14 - Valores individuais de volume e altura de chuvas erosivas e de perdas de água observados no período de 2015 a 2018 (média de duas repetições) em Cambissolo Húmico em Lages – SC.....	64
Tabela 15 - Valores mensais de perdas de água observados no período de 2015 a 2018, (média de duas repetições) em Cambissolo Húmico em Lages – SC.....	66
Tabela 16 - Valores de perdas de água por ciclo de cultivo observados no período de 2015 a 2018, (média de duas repetições) em Cambissolo Húmico em Lages – SC.....	69

Tabela 17 - Atributos químicos na camada de 0 – 2,5 cm do solo no inicio da pesquisa em 2015 e no final em 2018, (média de duas repetições) em Cambissolo Húmico em Lages – SC.....	73
Tabela 18 - Valores de concentrações de P solúvel na água da enxurrada observados no período de 2015 a 2018, (média de duas repetições) em Cambissolo Húmico em Lages – SC.....	75
Tabela 19 - Valores por cultivo de concentrações de P solúvel na água observados no período de 2015 a 2018, (média de duas repetições) em Cambissolo Húmico em Lages – SC.....	78
Tabela 20 - Valores de concentração de K solúvel na água da enxurrada observados no período de 2015 a 2018, (média de duas repetições) em Cambissolo Húmico em Lages – SC.....	79
Tabela 21 - Valores de concentração de K solúvel na água de enxurrada observados por ciclo de cultivo no período de 2015 a 2018 (média de duas repetições) em Cambissolo Húmico em Lages – SC.....	81
Tabela 22 - Valores de concentração de Ca solúvel na água da enxurrada observados no período de 2015 a 2018 (média de duas repetições) em Cambissolo Húmico em Lages – SC.....	82
Tabela 23 - Valores de concentração de Ca solúvel na água de enxurrada por ciclo de cultivo observados no período de 2015 a 2018 (média de duas repetições) em Cambissolo Húmico em Lages – SC.....	84
Tabela 24 - Valores de concentração de Mg solúvel na água de enxurrada observados no período de 2015 a 2018 (média de duas repetições) em Cambissolo Húmico em Lages – SC.....	85
Tabela 25 - Valores de concentração de Mg solúvel na água de enxurrada por ciclo de cultivo observados no período de 2015 a 2018 (média de duas repetições) em Cambissolo Húmico em Lages – SC.....	87
Tabela 26 - Valores de concentração de P nos sedimentos perdidos observados por ciclo de cultivo no período de 2015 a 2018 (média de duas repetições) em Cambissolo Húmico em Lages – SC.....	89
Tabela 27 - Valores de concentração de K nos sedimentos perdidos por ciclo de cultivo observados no período de 2015 a 2018 (média de duas repetições) em Cambissolo Húmico em Lages – SC.....	91
Tabela 28 - Valores de concentração de Ca nos sedimentos perdidos por ciclo de cultivo observados no período de 2015 a 2018 (média de duas repetições) em Cambissolo Húmico em Lages – SC.....	92
Tabela 29 - Valores de concentração de Mg nos sedimentos perdidos por ciclo de cultivo observados no período de 2015 a 2018 (média de duas repetições) em Cambissolo Húmico em Lages – SC.....	94
Tabela 30 - Taxa de enriquecimento de P extraível, K, Ca e Mg trocáveis nos sedimentos, no primeiro e último cultivo de primavera/verão (média de duas repetições) em Cambissolo Húmico em Lages – SC.....	95

Tabela 31 - Valores por cultivo das perdas de P solúvel na água da enxurrada, nos sedimentos e o total perdido, observados no período de 2015 a 2018, (média de duas repetições) em Cambissolo Húmico em Lages – SC	97
Tabela 32 - Valores por cultivo das perdas de K solúvel na água da enxurrada, nos sedimentos e o total perdido, observados no período de 2015 a 2018, (média de duas repetições) em Cambissolo Húmico em Lages – SC	99
Tabela 33 - Valores por cultivo das perdas de Ca solúvel na água da enxurrada, nos sedimentos e o total perdido, observados no período de 2015 a 2018, (média de duas repetições) em Cambissolo Húmico em Lages – SC	101
Tabela 34 - Valores por cultivo das perdas de Mg solúvel na água da enxurrada, nos sedimentos e o total perdido, observados no período de 2015 a 2018, (média de duas repetições) em Cambissolo Húmico em Lages – SC	102
Tabela 35 - Teores de carbono orgânico total no solo no início da pesquisa em 2015, e no final da pesquisa em 2018, em cinco camadas para um Cambissolo Húmico em Lages SC.....	104
Tabela 36 - Resultados da densidade do solo (Ds), porosidade do solo distribuída em poros totais Pt, bioporos Bio, macroporos Ma, e micro poros Mi, diâmetro médio ponderado dos agregados DMP, grau de floculação das argilas GF, e resistência do solo a penetração RP, logo após a instalação da pesquisa em 2015, em cinco camadas para um Cambissolo Húmico em Lages SC	115
Tabela 37 - Resultados da densidade do solo (Ds), porosidade do solo distribuída em poros totais Pt, bioporos Bio, macro poros Ma, e micro poros Mi, diâmetro médio ponderado dos agregados DMP, grau de floculação das argilas GF, e resistência do solo a penetração RP, ao final da pesquisa em 2018 (3 anos após o início), em cinco camadas para um Cambissolo Húmico em Lages SC.....	116
Tabela 38 - Massa seca da parte aérea e das raízes produzidas pelas culturas de ervilhaca, nabo forrageiro e aveia preta nos tratamentos entre os anos de 2015 e 2018 no Cambissolo Húmico em Lages SC	118
Tabela 39 - População de plantas, peso de mil grãos (P1000), massa de grãos e massa seca da planta inteira de milho, e massa seca de plantas invasoras nos tratamentos para as safras no Cambissolo Húmico em Lages SC.....	119
Tabela 40 - Altura das plantas, altura de inserção das espigas, diâmetro do colmo e espigas, comprimento, o numero de fileiras de grãos e numero de grãos por fileira da espiga de milho nos tratamentos para a safra de 2015/2016, no Cambissolo Húmico em Lages SC.....	122
Tabela 41 - Planilha de custo da implantação e receita bruta e líquida observados nas safras de 2015/16, 2016/17 e 2017/18, no Cambissolo Húmico em Lages SC	123
Tabela 42 - Planilha de custo de recuperação química do solo e margem líquida da cultura do milho nos tratamentos, na média das safras de 2015/16, 2016/17 e 2017/18, no Cambissolo Húmico em Lages SC	124

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Localização da área experimental (b) no município de Lages (a), SC	37
Figura 2 - Unidade experimental (a) e tanques de sedimentação e armazenagem (b).	43
Figura 3 - Disposição das quatro linhas de milho, onde cada cor representa um ano, de modo que entre um e outro ano as linhas não se sobreponham uma às outras, nos três anos de cultivo. Flechas em preto correspondem ao primeiro ano; em azul ao segundo ano e em vermelho ao terceiro ano de cultivo.....	43
Figura 4 - Cultivo do solo com consórcio de aveia preta (<i>Avena strigosa</i>), nabo forrageiro (<i>Raphanussativus</i>) e ervilhaca comum (<i>Vicia sativa</i>) (a), e cultivo do milho (<i>Zeamays</i>) (b).....	44
Figura 5 - Coleta de solo em anéis volumétricos (a) e avaliação da resistência do solo à penetração mecânica (b)	45
Figura 6 - Extração de espécies químicas do solo para posterior leitura e quantificação de cada espécie	46
Figura 7 - Pluviômetro, pluviógrafo (a) e pluviograma para o registro da precipitação (b) ..	47
Figura 8 - Coleta de campo após o evento de chuva erosiva em cada parcela.....	49
Figura 9 - Valores médios mensais dos percentuais do fator de erosividade EI_{30} $MJ\ mm\ ha^{-1}\ h^{-1}$ e do volume das chuvas (mm) obtidas entre 2015 e 2018 em Lages – SC....	57
Figura 10 - Relação entre os eventos de chuvas erosivas e as perdas de solo observadas nos tratamentos SD1 (a), SD2(b), SD3(c), SD4(d), SD5(e) e médias do período(f), durante o período de cultivo entre os anos de 2015 e 2018 para Lages, SC.	59
Figura 11 - Relação entre as perdas de solo do tratamento SD5 e os meses (a), erosividade $MJ\ mm\ ha^{-1}\ h^{-1}$ e perdas de solo nas médias mensais dos tratamentos (b) e media mensal dos tratamentos para todo o período (c) dos eventos erosivos obtidos entre os anos de 2015 e 2018 em Lages – SC.....	62
Figura 12 - Relação entre os valores de altura de chuva (mm) e as perdas de água (mm) por mês nos tratamentos SD1 (a), SD2 (b), SD3 (c), SD4 (d), SD5 (e), e média de todos os tratamentos (f) dos eventos erosivos obtidos entre os anos de 2015 e 2018 em Lages - SC.....	68
Figura 13 - Relação entre perdas de água (PA) e perdas de solo (PS) nos tratamentos SD1 (a), SD2 (b), SD3 (c), SD4 (d), SD5 (e), e média de todos os tratamentos (f) dos eventos erosivos obtidos entre os anos de 2015 e 2018 em Lages – SC.	70
Figura 14 - Relação entre concentração de P na água e a porcentagem de perdas de água (PA) nos tratamentos SD1 (a), SD2 (b), SD3 (c), SD4 (d), SD5 (e), e média de todos os tratamentos (f) dos eventos erosivos obtidos entre os anos de 2015 e 2018 em Lages – SC.....	77
Figura 15 - Relação entre concentração de K na água e a porcentagem de perdas de água (PA) nos tratamentos SD1 (a), SD2 (b), SD3 (c), SD4 (d), SD5 (e), e média de todos os tratamentos (f) dos eventos erosivos obtidos entre os anos de 2015 e 2018 em Lages – SC.....	80
Figura 16 - Relação entre concentração de Ca na água e a porcentagem de perdas de água (PA) nos tratamentos SD1 (a), SD2 (b), SD3 (c), SD4 (d), SD5 (e), e média de	

todos os tratamentos (f) dos eventos erosivos obtidos entre os anos de 2015 e 2018 em Lages – SC.....	83
Figura 17 - Relação entre concentração de Mg na água e a porcentagem de perdas de água (PA) nos tratamentos SD1 (a), SD2 (b), SD3 (c), SD4 (d), SD5 (e), e média de todos os tratamentos (f) dos eventos erosivos obtidos entre os anos de 2015 e 2018 em Lages – SC.....	86
Figura 18 - Relação média entre concentrações de P extraível no solo (0-2,5 cm) e sedimentos (pontos são os tratamentos SD1, SD2, SD3, SD4 e SD5, respectivamente) no período de 2015 a 2018 (média de duas repetições) em Cambissolo Húmico em Lages – SC.....	89
Figura 19 - Relação média entre concentrações de K disponível no solo (0-2,5 cm) e sedimentos no período de 2015 a 2018 (média de duas repetições) em Cambissolo Húmico em Lages – SC.....	91
Figura 20 - Relação média entre concentrações de Ca no solo (0-2,5 cm) e sedimentos no período de 2015 a 2018 (média de duas repetições) em Cambissolo Húmico em Lages – SC.....	93
Figura 21 - Relação média entre concentrações de Mg no solo (0-2,5 cm) e sedimentos no período de 2015 a 2018 (média de duas repetições) em Cambissolo Húmico em Lages – SC.....	94
Figura 22 - Relação entre perdas totais de P na água e nos sedimentos nos ciclos de cultivo na média de todos os tratamentos (a) e relação entre as perdas na água e nos sedimentos nos ciclos de cultivo (b) dos eventos erosivos obtidos entre os anos de 2015 e 2018 em Lages – SC.....	98
Figura 23 - Relação entre perdas totais de K nos ciclos de cultivo nos tratamentos média de todos os tratamentos (a) e relação entre as perdas na água e nos sedimentos (b) dos eventos erosivos obtidos entre os anos de 2015 e 2018 em Lages – SC.....	100
Figura 24 - Relação entre perdas totais de Ca nos ciclos de cultivo (a) e relação de perda média entre Ca na água e nos sedimentos (b) dos eventos erosivos obtidos entre os anos de 2015 e 2018 em Lages – SC.....	101
Figura 25 - Relação entre perdas totais de Mg nos ciclos de cultivo (a) e relação de perda média entre Mg na água e nos sedimentos nos tratamentos média de todos os tratamentos (b) dos eventos erosivos obtidos entre os anos de 2015 e 2018 em Lages – SC.....	103
Figura 26 - Teores de carbono orgânico total no solo (COT) no início da pesquisa em 2015 (a), e no final da pesquisa em 2018 (b) e médias dos tratamentos entre os períodos da pesquisa (c), em cinco camadas para um Cambissolo Húmico em Lages - SC.....	105
Figura 27 - Densidade do solo em todos os tratamentos (Ds) no início (a) e no final (b), e medias dos tratamentos entre os períodos da pesquisa (c), nas cinco camadas avaliadas para um Cambissolo Húmico em Lages SC.....	106
Figura 28 - Porosidade total do solo (Pt) no início (a) e no final (b) em todos os tratamentos, e médias dos tratamentos no início e final da pesquisa (c), nas cinco camadas avaliadas para um Cambissolo Húmico em Lages SC.....	108

Figura 29 - Relação da porosidade total (Pt) entre os tratamentos SD1 SD5 no início e final (a), e entre SD1 SD4 no início e final (b) nas cinco camadas avaliadas para um Cambissolo Húmico em Lages SC	108
Figura 30 - Macroporosidade do solo (Ma) no início (a) e no final (b) em todos os tratamentos, e médias dos tratamentos no início e final da pesquisa (c), nas cinco camadas avaliadas para um Cambissolo Húmico em Lages SC.....	109
Figura 31 - Microporosidade do solo (Mi) no início (a) e no final (b) em todos os tratamentos, e médias dos tratamentos no início e final da pesquisa (c) e nas cinco camadas avaliadas para um Cambissolo Húmico em Lages SC.....	110
Figura 32 - Diâmetro médio ponderado dos agregados do solo (DMP) no início (a), no final (b), em todos os tratamentos, e média dos tratamentos no início e final da pesquisa (c), nas cinco camadas avaliadas para um Cambissolo Húmico em Lages SC.....	112
Figura 33 - Relação entre diâmetro médio ponderado dos agregados do solo (DMP) e o carbono orgânico total (COT) no inicio (a) e no final (b) da pesquisa nas cinco camadas avaliadas para um Cambissolo Húmico em Lages SC.....	112
Figura 34 - Resultados grau de floculação das argilas (GF) no início (a), no final (b), em todos os tratamentos, e média dos tratamentos no início e final da pesquisa (c), nas cinco camadas avaliadas para um Cambissolo Húmico em Lages SC.....	113
Figura 35 - Resistência à penetração do solo (RP) no início (a), no final (b), em todos os tratamentos, e média dos tratamentos no início e final da pesquisa (c), nas cinco camadas avaliadas para um Cambissolo Húmico em Lages SC.....	114
Figura 36 - Relação entre a produção de massa seca das plantas de cobertura (MS) e a produção de grãos de milho (a), e produção de massa seca das plantas de cobertura (MS) e o peso de mil grãos de milho (P1000) nos três anos de avaliação no Cambissolo para Lages – SC	120

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	23
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	25
2.1	QUALIDADE DO SOLO	26
2.1.1	Atributos e indicadores de qualidade física do solo.....	26
2.1.2	Atributos e indicadores de qualidade química do solo	27
2.2	PERDAS DE SOLO, ÁGUA E NUTRIENTES POR EROSÃO HÍDRICA PLUVIAL.....	29
2.3	EFEITO DA DEGRADAÇÃO/RECUPERAÇÃO DO SOLO	32
3	HIPÓTESES	33
4	OBJETIVOS	35
4.1	GERAL	35
4.2	ESPECÍFICOS	35
5	MATERIAL E MÉTODOS	37
5.1	LOCAL DE ESTUDO E TIPO DE SOLO	37
5.2	HISTÓRICO DA ÁREA EXPERIMENTAL.....	38
5.3	UNIDADE EXPERIMENTAL E TRATAMENTOS.....	41
5.4	COLETAS E DETERMINAÇÕES NO SOLO	44
5.4.1	Determinações físicas do solo	44
5.4.2	Determinações químicas do solo	45
5.5	QUANTIFICAÇÃO DA EROSÃO HÍDRICA DO SOLO	46
5.6	AVALIAÇÃO DAS CULTURAS	49
5.8	TRATAMENTO ESTATÍSTICO	51
6	RESULTADOS E DISCUSSÃO	53
6.1	NÚMERO, ALTURA E EROSIVIDADE DAS CHUVAS	53
6.2	PERDAS DE SOLO E ÁGUA.....	58
6.2.1	Perdas de solo por evento de chuva e por tratamento	58
6.2.2	Perdas de solo mensal	60
6.2.3	Perdas de solo por ciclo de cultivo e por tratamento	63
6.2.4	Perdas de água anual	64
6.2.5	Perdas de água mensal	65
6.2.6	Perdas de água por ciclo de cultivo	69
6.3	ATRIBUTOS QUÍMICOS DA CAMADA SUPERFICIAL DO SOLO.....	72
6.4	CONCENTRAÇÃO DE NUTRIENTES SOLÚVEIS NA ÁGUA DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL	74

6.4.1 Concentração de fósforo (P) solúvel na água de enxurrada por chuva e por tratamento	74
6.4.2 Concentração de fósforo (P) solúvel na água de enxurrada por ciclo de cultivo.....	78
6.4.3 Concentração de potássio (K) solúvel na água de enxurrada.....	79
6.4.4 Concentração de potássio (K) solúvel na água de enxurrada por ciclo de cultivo	80
6.4.5 Concentração de cálcio (Ca) solúvel na água de enxurrada	82
6.4.6 Concentração de cálcio (Ca) solúvel na água de enxurrada por ciclo de cultivo	84
6.4.7 Concentração de magnésio (Mg) solúvel na água de enxurrada por chuva e por tratamento	85
6.4.8 Concentração de magnésio (Mg) solúvel na água de enxurrada por ciclo de cultivo .	86
6.5 CONCENTRAÇÃO DE NUTRIENTES NOS SEDIMENTOS PERDIDOS POR EROSÃO HÍDRICA PLUVIAL	88
6.5.1 Concentração de P nos sedimentos erodidos por ciclo de cultivo	88
6.5.2 Concentração de K nos sedimentos erodidos por ciclo de cultivo	90
6.5.3 Concentração de Ca nos sedimentos erodidos por ciclo de cultivo.....	91
6.5.4 Concentração de Mg nos sedimentos perdidos por ciclo de cultivo e por tratamento	93
6.5.5 Taxa de enriquecimento em P, K, Ca e Mg.....	95
6.6 PERDAS DE NUTRIENTES SOLÚVEIS POR EROSÃO HÍDRICA	96
6.6.1 Perdas de P solúvel na água, sedimentos e o total da erosão	96
6.6.2 Perdas de K solúvel na água, sedimentos e o total de perdas por erosão hídrica	98
6.6.3 Perdas de Ca solúvel na água, sedimentos e o total de perdas por erosão hídrica	100
6.8.1 Densidade do solo	105
6.8.2 Porosidade total do solo	107
6.8.3 Valores de bioporos e macroporos do solo.....	109
6.7.4 Valores de microporos do solo.....	110
6.7.6 Valores de resistência do solo à penetração mecânica.....	114
6.9 PRODUÇÃO DAS CULTURAS	117
6.9.1 Produção das culturas no período de outono/inverno	117
6.8.2 Produção das culturas no período de primavera/verão	118
6.10 AVALIAÇÃO DOS CUSTOS DE PRODUÇÃO DAS CULTURAS E DE RECUPERAÇÃO QUÍMICA DO SOLO	123
7 CONCLUSÕES	125
REFERÊNCIAS	127
ANEXO A - ANÁLISES GRANULOMÉTRICAS DO SOLO	137

1 INTRODUÇÃO

O aumento da demanda mundial por alimentos vem crescendo exponencialmente com o crescimento populacional, provocando uma grande pressão sobre o uso da terra e manejo do solo. Devido a isso, muitas vezes o solo vem sendo usado e manejado acima do seu limite, causando danos nas suas propriedades físicas, químicas e biológicas, e acelerando a erosão hídrica. Assim, a erosão se constitui na principal forma de degradação das terras agricultáveis, em que a camada mais fértil é a primeira a sofrer desagregação, transporte e deposição, para fora do seu local de origem. De acordo com o relatório da Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO) (2015), 33% das terras agrícolas mundiais apresentam algum grau de degradação, principalmente em função da erosão hídrica.

Com a diminuição da produtividade das culturas nos solos já degradados, a aplicação de elevadas doses de adubos traz outra preocupação, qual seja a de observância da capacidade de suporte do solo aos nutrientes adicionados. Ao ser essa capacidade excedida, o solo se torna fonte de contaminação química para o ambiente. Assim, os sedimentos e a água, carregados com contaminantes químicos, tornam-se os maiores degradadores de mananciais hídricos provenientes da erosão hídrica do solo. Quando a deposição ocorre em ambiente aquático, fora da área agrícola, ocasiona o assoreamento desses mananciais, causando a eutrofização das águas pelo aumento da concentração de nutrientes, especialmente o fósforo (P), principalmente pelos fertilizantes aplicados no solo.

No contexto geral, o revolvimento do solo melhora a distribuição de fertilizantes e corretivos na camada explorada pelas raízes. Por outro lado, torna o solo suscetível à desagregação e transporte pela chuva e enxurrada, causando perdas por erosão acima do tolerável. O solo formado em milhares de anos, pode ser perdido durante um único evento de chuva erosiva. Assim, a erosão hídrica acelerada pode inviabilizar alguns sistemas de produção agrícola, de modo que o manejo inadequado predispõe o solo à perda de camadas expressivas, em alguns casos até mesmo de todo o horizonte superficial, cujo processo precisa ser minimizado.

O fator climático envolvendo os eventos de chuva erosiva é característico de cada região, e não é controlado pela ação humana. Cada tipo de solo apresenta características distintas, no que se refere à suscetibilidade ao processo erosivo. O homem pode interferir positivamente, respeitando a capacidade e aptidão de uso das terras, e adotar sistemas de manejo e práticas conservacionistas que minimizem os efeitos causados pelos eventos erosivos. Neste contexto, um trabalho em campo foi desenvolvido sob chuva natural desde

1988, no qual tratamentos foram conduzidos para avaliar as perdas de solo, água e nutrientes pela erosão hídrica, bem como as características químicas e físicas do solo que foram afetadas pela erosão. Após 27 anos, os tratamentos de preparo convencional com cultivo e sem cultivo do solo, ambos submetidos ao revolvimento mecânico com sucessivas arações e gradagens, haviam perdido grandes quantidades de solo pela erosão, com remoção quase por completo da camada fértil no caso do solo sem cultivo, refletindo o que acontece em lavouras manejadas de forma inadequada.

O escopo desta pesquisa se caracterizou pela avaliação de recuperação do solo nas áreas degradadas, após mudança de uso da terra, manejo e cultivo do solo, e de recuperação da fertilidade por meio de correção e adubação mineral, avaliando-se indicadores físicos e químicos do solo, capacidade de resposta de produção vegetal e os reflexos disso na redução da erosão hídrica do solo.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Os diferentes tipos de uso da terra e manejo do solo provocam alterações nas suas propriedades físicas (BERTOL et al., 2001), químicas (ANDRADE et al., 2012), e biológicas (D'ANDREA et al., 2002), as quais, afetam o solo, e podem manifestar-se de várias maneiras, influenciando o crescimento e desenvolvimento das plantas. Com o passar do tempo, o solo cultivado tende a ter a estrutura original alterada pelo fracionamento dos agregados em unidades menores, com consequente redução no volume de macroporos e aumentos no volume de microporos e na densidade do solo (BERTOL et al., 2004). Em decorrência de alterações de manejo, observa-se diminuição da infiltração de água no solo, com consequente aumento de escoamento superficial e das perdas de água e solo (SCHICK et al., 2017).

No contexto biológico, Baretta et al. (2006) destacam que os organismos do solo são sensíveis às modificações que ocorrem nos atributos físicos e químicos, podendo ser utilizados como indicadores de qualidade de solo relacionados com o seu manejo. De acordo com Paul et al. (2013), os sistemas de manejo conservacionistas podem reduzir os impactos sobre a biodiversidade edáfica, pois tais sistemas revolvem minimamente o solo, mantém o solo coberto por resíduos culturais e adotam a rotação de culturas, elevando assim os teores de nutrientes e carbono orgânico no solo.

Alterações químicas no solo também são observadas em função do manejo, onde geralmente sistema de cultivo com pouco revolvimento do solo, como a semeadura direta, apresenta maiores concentrações de nutrientes na superfície do solo em comparação ao preparo convencional, o qual é caracterizado pela intensa mobilização do solo com arado e grade (ANDRADE et al., 2012). Diferenças significativas entre os sistemas de preparo do solo em valores monetários foram observados por Bertol et al. (2007), os quais constataram que a semeadura direta (SD) e o cultivo mínimo (CM) comportaram-se de maneira semelhante em termos de valor monetário de fósforo (P) disponível, expresso na forma de superfosfato triplo, potássio (K) trocável, na forma de cloreto de potássio, e cálcio (Ca) e magnésio (Mg) trocáveis, na forma de calcário, os quais, são perdidos anualmente por erosão hídrica, sendo tais perdas menores do que aquelas verificadas no preparo convencional (PC).

Segundo Hudson (1995), apud Ramos (2014), sete importantes categorias de degradação do solo são mundialmente estabelecidas, a erosão hídrica e eólica; a degradação química, física e biológica; a salinização e a desertificação. Dentre essas, a erosão hídrica é a responsável pela maior parte da degradação, devido sua abrangência geográfica e área total

afetada, e pelo fato do solo ser considerado um recurso natural não renovável na escala de vida dos humanos.

2.1 QUALIDADE DO SOLO

2.1.1 Atributos e indicadores de qualidade física do solo

A qualidade física do solo é importante do ponto de vista de sua estrutura. O tipo e a natureza das variações que ocorrem ao longo do perfil do solo, na superfície da paisagem e ao longo do tempo, definem a qualidade do mesmo. Um solo é considerado fisicamente ideal para o crescimento de plantas quando apresenta boa retenção de água, boa aeração, bom suprimento de calor e pouca resistência ao crescimento radicular. A estrutura do solo é o atributo físico melhor relacionado à degradação e/ou recuperação, e mostra grandes variações intrínsecas ao manejo adotado. De acordo com Seben Junior et al. (2014), a mudança de uso pelo desmatamento e a intensificação do manejo pelo cultivo, diminui a qualidade da estrutura, pela redução da estabilidade de agregados estáveis em água. Dentre os sistemas de manejo, a SD melhora a agregação do solo em relação ao PC.

Uma característica importante para avaliar a qualidade física do solo e de fácil mensuração é a infiltração de água no solo (BAVER et al., 1972). De acordo com Andrade et al. (2012) a maior infiltração de água ocorre na SD, onde a porosidade total é maior e a densidade menor, principalmente na superfície do solo. Nesse caso, a infiltração é devido aos espaços porosos e às galerias das raízes ao longo do perfil, os quais são mantidos pela ausência de revolvimento por aração. Panachuki et al. (2011) observaram também uma maior infiltração de água no CM.

Outro aspecto importante da SD é a elevada estabilidade dos agregados, condição física importante para qualidade ambiental dos ecossistemas e característica favorável ao bom desenvolvimento das culturas, por favorecer o desenvolvimento das raízes de forma adequada (REINERT; REICHERT, 2006). Diretamente, o emaranhado que as raízes formam aproximam e protegem os agregados, principalmente os macroagregados e, indiretamente, pela sua decomposição, as raízes fornecem material orgânico e depositam carbono em subsuperfície do solo (VEZZANI; MIELNICZUK, 2011).

As plantas são importantes alternativas para recuperação estrutural do solo, pois atuam na proteção dos agregados superficiais, e aportam matéria orgânica ao solo e ao longo do perfil, o que promove a estabilização dos agregados e reduz a suscetibilidade do solo à

compactação (SANTOS et al., 2010). Conforme Oliveira et al. (2010) ambientes de mata nativa apresentam uma forte agregação de partículas em relação aos ambientes perturbados com uso do solo para exploração agrícola. Segundo Costa et al. (2003) o PC degrada as propriedades relacionadas com a forma e com a estabilidade da estrutura do solo quando comparado à mata nativa, com consequente aumento da densidade do solo e da resistência à penetração, e diminuição do diâmetro e estabilidade dos agregados. Os mesmos autores relatam uma melhoria nas propriedades físicas do solo, contribuindo com a produtividade das culturas em condição de SD.

De acordo com Bertol et al. (2004), as propriedades físicas do solo são alteradas pelo manejo, sendo a densidade do solo e o volume de microporos maiores em SD em relação ao PC e campo nativo na camada superficial, enquanto que a macroporosidade é maior no PC em comparação aos demais. Em contrapartida, o diâmetro médio ponderado dos agregados é menor no PC e demonstra maior degradação da estrutura em relação à SD e campo nativo. As perdas de solo e água apresentam uma estreita relação com a estabilidade de agregados em água, e com o teor de carbono orgânico do solo. Assim, essas características podem ser utilizadas como indicadoras de qualidade do solo quanto à sua resistência à erosão hídrica (RAMOS, 2014).

2.1.2. Atributos e indicadores de qualidade química do solo

Os diferentes sistemas de manejo do solo podem alterar o gradiente de concentração de nutrientes e carbono no solo, tanto em superfície, quanto em subsuperfície do solo. Andrade et al. (2012) observaram incremento no teor de carbono orgânico total do solo ao longo de 12 anos de cultivo em condição de SD em relação ao PC. Da mesma forma, Ensinas et al. (2014) concluíram que a SD promove aumento no estoque de carbono orgânico do solo em médio e longo prazo, sendo um indicativo de aumento dos níveis de matéria orgânica.

Costa et al. (2008) ressaltam que a emissão total de C do solo na forma de CO₂ é similar nos diferentes sistemas de manejo, porém, quando essa emissão é ponderada em função da quantidade de C no solo e do resíduo vegetal, verifica-se a importância da SD e da inclusão de plantas de cobertura do solo, como as leguminosas, na conservação do C no solo. Esses mesmos autores mostraram que o solo nas condições de PC, e de SD, com baixo aporte de resíduos vegetais, apresentam balanço negativo de C. Já os teores de N são afetados pela rotação de culturas com introdução de leguminosas, devido à capacidade de fixar N biologicamente pela associação com bactérias fixadoras (ANDRADE et al., 2012).

Os resíduos da parte aérea e as raízes das plantas apresentam grande influência no aporte de nutrientes para o solo. Wink et al. (2014), ressaltam a importância da adição de resíduos pelas raízes e da sequência temporal das culturas que são utilizadas em rotação, sendo essas, as que determinam os estoques de C e N totais. Tais conclusões foram obtidas em experimento de longa duração, com 21 anos de condução da SD. De acordo com Wolschick et al. (2016), o consórcio de aveia preta, nabo forrageiro e ervilhaca comum, produz grande quantidade de matéria verde e seca, bem como acumula uma quantidade considerável de nutrientes em relação às culturas solteiras, tanto nas raízes como na parte aérea. O consórcio de plantas se torna interessante pela utilização de diferentes espécies, cada qual com suas características de desenvolvimento, produção de matéria seca e acúmulo/liberação de nutrientes para o solo.

Almeida et al. (2005) constataram em Cambissolo Húmico uma diminuição nos teores de Al na SD em comparação ao PC. Segundo os autores, esse comportamento indica o efeito do maior aporte e produção de compostos orgânicos na SD, sugerindo que estes, podem ter provocado maior complexação do Al. Em relação ao pH do solo, observaram redução do mesmo em SD, comportamento este, atribuído à acidificação provocada pela decomposição dos resíduos orgânicos deixados na superfície do solo.

Para P e K, Ensinas et al. (2014) destacaram uma diferença significativa dos teores na superfície do solo; na SD o solo apresentou oito vezes mais P na camada de 0 a 2,5 cm. Altos teores de P em superfície são atribuídos ao manejo do solo, onde a adubação é em superfície e um grande aporte de cobertura morta, que na SD permanece acumulado, ao contrário do PC onde a adubação e o material vegetal são incorporados pelo preparo do solo, favorecendo a distribuição nas camadas mais profundas do solo. Na média da camada de 0 a 30 cm essa diferença é 50 % menor no PC em relação à SD (ALMEIDA et al., 2005). De acordo com Bayer e Bertol (1999), o PC com uma aração e duas gradagens, executada duas vezes ao ano, promove uma distribuição relativamente uniforme dos resíduos vegetais na camada arável do solo, evidenciando a distribuição de nutrientes ao longo do perfil. Andrade et al. (2012), destacam que o solo sob SD tem maiores concentrações de Ca, e além disso, maiores concentrações de P e K do que o solo sob PC, nas camadas superficiais.

Outro aspecto que tem grande influência na concentração de nutrientes no perfil do solo, diz respeito à forma de aplicação dos adubos. Pandolfo e Veiga (2013) verificaram que a adubação, tanto em linha quanto a lanço, aumentou os teores de P no solo, com ênfase nas camadas superficiais e maior quando aplicado em linha. Os mesmos autores mostraram uma relação exponencial com o aumento das doses aplicadas e o rendimento das culturas, mesmo

comportamento observado por Souza et al. (2017). De acordo com Model e Anghinoni (1992) apud Pandolfo e Veiga (2013) o aumento nos teores de P e K tem relação com o volume de solo fertilizado (adubação superficial e/ou incorporado). Quando o volume de solo diminui para a mesma quantidade de adubo aplicado, como é o caso da SD onde a adubação é superficial, ocorre redução do contato entre o adubo e o solo, diminuindo as reações de adsorção do P no solo, sendo potencializado quanto maior for a dose de adubo. Barbosa et al. (2015) mostraram uma diferença das formas de aplicação quanto à camada de maior acúmulo, especialmente na camada de 0 a 2,5 cm quando o fertilizante foi aplicado a lanço em área total, e na camada de 5,0 à 7,5 cm quando a aplicação ocorreu na linha. Portanto, para incrementar 1 mg dm³ do teor de P, o requerimento deste no solo é maior no PC em relação SD (NUNES et al., 2011).

2.2. PERDAS DE SOLO, ÁGUA E NUTRIENTES POR EROSÃO HÍDRICA PLUVIAL

A erosividade é o potencial da chuva em causar erosão, sendo representada por um índice numérico. Esse índice numérico é representado pelas características da chuva como intensidade, duração e volume, definindo a magnitude de sua erosividade (WISCHMEIER; SMITH, 1978).

As operações de preparo do solo influenciam significativamente a superfície, modificando o micro relevo, a disposição dos resíduos e a exposição o solo a ação da radiação solar e da chuva. Conforme Wolschick et al. (2018), as operações de preparo fracionam os agregados do solo, deixando o mesmo fisicamente degradado. Um dos maiores problemas na utilização do PC, está relacionado com as perdas de solo e água por erosão, e de acordo com Guadagnin et al. (2005) e Schick et al. (2017), sistemas conservacionistas de manejo do solo como a SD e CM são mais eficientes na redução destas perdas, em relação aos sistemas não conservacionistas, como o solo sem cultivo (SC) e PC.

Um solo manejado nas formas de SC e PC, com ausência e/ou pequena massa de resíduos culturais na superfície, se torna altamente suscetível aos processos de desagregação e transporte causados pelo impacto das gotas de chuva e escoamento superficial (COGO et al. 2003; SCHICK et al. 2017). Isso evidencia a importância do suprimento de cobertura vegetal ao solo por plantas e/ou resíduos, principalmente nos períodos de maior erosividade das chuvas, proporcionando ao solo controle eficaz da erosão hídrica (WISCHMEIER; SMITH, 1978). Quando comparado o mesmo sistema de preparo de solo, com presença e/ou ausência de resíduos, Panachuki et al. (2011) constataram maiores perdas de solo nos tratamentos sob

SD sem resíduo vegetal, enquanto nesse mesmo tipo de manejo com a presença dos resíduos ocorreu maior eficiência no controle da erosão hídrica. De acordo com Barbosa et al., (2010), o tipo de resíduo influencia a quantidade de sedimentos na enxurrada, em cujo trabalho, verificaram que o resíduo de aveia reduziu os sedimentos na enxurrada em 46% em relação ao resíduo de ervilhaca. Conforme Ramos (2015), a cobertura superficial do solo, a massa de resíduos e a eficácia relativa do resíduo, são os mais importantes indicadores de qualidade do solo quanto a sua resistência à erosão.

Ao comparar sistemas de preparo de solos, Cogo et al. (2003) constataram maiores perdas de solo no PC em relação ao CM e à SD, mesmo comportamento observado por Schick et al. (2017). Isso também vale para nutrientes perdidos via erosão pela manutenção da cobertura vegetal (THOMAZINI, et al. 2012; BERTOL et al. 2017).

Estudos nesse campo têm mostrado uma redução nas perdas de solo em áreas com cobertura adequada de resíduos. Conforme Albuquerque et al. (2002), a cobertura morta reduziu as perdas de solo e água em 99 e 74%, respectivamente, em relação ao solo manejado na forma de SC. A massa e a forma de disposição de resíduos na superfície do solo controla a dinâmica do movimento do fluxo da enxurrada, tornando-se ponto chave no controle das perdas de solo (BARBOSA et al. 2010). Isso foi confirmado em trabalho realizado por Panachuki et al. (2011), em que, com diferentes doses de material na superfície do solo ficou demonstrada eficiência de 100% no controle das perdas de solo com 4 Mg ha^{-1} de resíduos na SD e PR, em estudo realizado com chuva gerada por microsimulador sobre microparcelas (1 m^2).

Lanzanova et al. (2013) promoveram mudanças no uso do solo, partindo do PC para a SD, utilizando plantas de cobertura de inverno e/ou de verão ao longo de três anos. Os mesmos observaram que as perdas de solo foram reduzidas em 99,7 e 66,7% e de água em 96,8 e 71,8%, no PD e PC respectivamente, quando comparado ao solo na forma de SC. De acordo com Floss (2000), a manutenção de restos culturais na superfície do solo é um importante fator para proporcionar melhorias na estrutura do solo e na infiltração. O acúmulo de resíduos reduz a temperatura superficial do solo e proporciona aumento da estabilidade dos agregados. Teixeira et al. (2003) ressaltam que a introdução de espécies de plantas de cobertura do solo nos sistemas de cultivo, é importante para a recuperação de áreas degradadas, bem como a manutenção da estrutura e fornecimento de resíduos vegetais ao solo.

As raízes podem estar envolvidas, direta ou indiretamente, na estabilização do solo. Diretamente, o emaranhado que elas formam aproxima e protege os agregados do solo, em

especial os macroagregados, e, indiretamente, devido à decomposição das mesmas, fornecendo materiais orgânicos estabilizantes, e depositando carbono abaixo da superfície do solo (VEZZANI; MIELNICZUK, 2011). Algumas espécies produzem grande massa de raízes, podendo-se destacar as gramíneas que apresentam abundância de raízes (JIMENEZ et al., 2008). Wolschick et al. (2016) destacaram a aveia preta como espécie que produziu maior quantidade de matéria seca de raízes em relação à ervilhaca comum, nabo forrageiro e o consórcio das três espécies. Luciano et al. (2009), ressaltam que as raízes da aveia proporcionam melhorias na agregação do solo na região de sua abrangência. Com isso, aumentam a resistência do solo à desagregação e transporte pela enxurrada. Da mesma forma, resultados de Ramos (2014) demonstraram que o cultivo do azevém aumentou o diâmetro médio geométrico dos agregados e a macroporosidade, bem como o teor de carbono orgânico total, e, consequentemente, diminuiu a densidade do solo, em comparação ao cultivo de ervilhaca.

Vários trabalhos nessa linha têm mostrado que o não revolvimento do solo e a manutenção de cobertura superficial, mantém e/ou melhoram os atributos do solo. De acordo com Portela (2009), de 65 a 85% das variações nas perdas de solo, são explicadas pela cobertura, atribuindo a sua capacidade de dissipar a energia desagregante das gotas de chuva sobre o solo. A cobertura desempenha papel importante na dissipação da energia de escoamento, pois serve como obstáculo, retardando o escoamento livre da água sobre a superfície do solo, bem como retardando a formação da crosta superficial (DALLA ROSA et al. 2013).

Mesmo com cobertura do solo eficiente, como é o caso dos sistemas conservacionistas do solo, a água e os sedimentos perdidos pela enxurrada, podem apresentar maior teor de espécies químicas, do que o próprio solo de onde foram originados (SCHICK et al., 2000a). Esta diferença entre os teores de espécies químicas entre o sedimento e o solo de onde a mesma se originou, caracteriza uma taxa de enriquecimento, na qual, esta relação é maior do que 1 (um) (SCHICK et al., 2000a; BARBOSA et al., 2009).

Por conta desse acúmulo, os teores de nutrientes nos sedimentos e na água, em geral, são altos (SCHICK et al., 2000a; BERTOL et al., 2007a; BARBOSA et al., 2009). Considerando-se que no sistema conservacionista a redução das perdas de água é influenciada em menor magnitude, em comparação às perdas de solo (AMARAL et al., 2008; BERTOL et al., 2017), sendo assim, este sistema não é todo satisfatório no controle das perdas de nutrientes, devido aos elevados teores presentes na água e nos sedimentos erodidos.

2.3 EFEITO DA DEGRADAÇÃO/RECUPERAÇÃO DO SOLO

O uso da SD pode fornecer benefícios, em comparação com o PC, por outro lado, a falta de preparo do solo pode aumentar a compactação do solo em níveis em que crescimento das raízes é limitado, especialmente em solos argilosos e com baixo teor de matéria orgânica (Secco et al., 2009). Mudanças nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, resultantes de sistemas de cultivo e plantio realizados por longos períodos, podem afetar o rendimento das culturas ao longo do tempo. Na literatura, a maioria dos estudos que correlacionam a produtividade das culturas com o manejo do solo são bastante recentes, conduzidos em um período inferior a dois décadas (Secco et al., 2009; Cavalieri et al., 2009). Em alguns casos, esses resultados divergem entre os sistemas de manejo do solo, e seus efeitos dependem de vários fatores.

Franchini et al. (2012) relatam que a evolução do rendimento de grãos de trigo, milho e principalmente soja, ao longo do tempo demonstra a existência de uma fase de estabilização do sistema de SD, que dura cerca de seis anos, quando a produtividade da cultura neste sistema tende a ser menor ou igual ao PC. Os mesmos autores relataram que após o 7º ano, a SD, com ou sem escarificação a cada três anos, proporciona maior rendimento de soja quando em comparação com o PC. O rendimento de trigo e milho é geralmente similar entre lavouras.

Conforme Melo Júnior, Camargo e Wendling (2011) existem distintas relações entre as taxas de aumento de agregação e textura do solo, em relação ao manejo e aos sistemas de cultura adotados. Assim, a recuperação da estabilidade estrutural do solo partindo do PC para a SD é pelo menos duas vezes mais rápidos em solos arenosos do que em solos argilosos, sendo influenciado pela condição inicial do solo. Quando o sistema de SD inicia em solo nunca cultivado, este perde menos qualidade, em relação ao solo em sistemas com mobilização.

A SD é superior no que tange as práticas conservacionistas comparado com o PC o que mostra que a SD bem implantado e bem conduzido é a forma mais propícia e comprovada para se diminuir os problemas da erosão do solo, melhorar a produtividade das culturas e aumentar o sequestro de carbono.

3 HIPÓTESES

As hipóteses do trabalho são:

- a) a mudança de manejo do preparo mecânico para a semeadura direta sem preparo melhora as características físicas e químicas do solo, e reduz fortemente as perdas de solo e fracamente as perdas de água, devido ao aumento de cobertura e consolidação superficial em decorrência do não revolvimento praticado na semeadura direta;
- b) a semeadura direta, implantada sobre solo em que a terra tenha sido usada sem cultivo e descoberto, aumenta fracamente a porosidade, estabilidade de agregados em água, flocação de argila e teor de carbono orgânico e diminui a densidade e resistência do solo à penetração de raízes, além de aumentar os teores de P, K, Ca e Mg, mas mantém elevado o escoamento superficial devido ao efeito residual do intenso revolvimento mecânico e ausência de cultivo praticado no período anterior;
- c) a concentração de P, K, Ca e Mg é maior nos sedimentos erodidos do que na superfície do solo de onde a erosão foi originada, caracterizando taxa de enriquecimento, especialmente na semeadura direta consolidada;
- d) a modificação de uso em que a terra era mantida sem cultivo e sem cobertura para cultivo na forma de manejo semeadura direta, promove baixa produção de biomassa para as culturas de cobertura do solo e acarreta prejuízo financeiro para a cultura do milho.

4 OBJETIVOS

4.1 GERAL

Por meio do estudo quantificou-se os reflexos na erosão hídrica e nos atributos físicos e químicos do solo e, com isso, na viabilidade econômica de recuperação do solo, por meio de introdução da semeadura direta em área degradada por manejos anteriores.

4.2 ESPECÍFICOS

Os objetivos específicos são:

- a) a recuperação da degradação física e química do solo foi inferida por meio de avaliação de mudança na porosidade, estabilidade de agregados em água, floculação da argila, teor de carbono orgânico, densidade do solo, resistência do solo à penetração de raízes, e teores de P, K, Ca e Mg, com avaliações no início e no final da pesquisa, comparando a semeadura direta com os antigos tratamentos de manejo do solo e uso da terra sobre os quais foi implantada;
- b) as perdas de solo e água por erosão hídrica foram quantificadas após cada evento de chuva erosiva, e relacionadas com a erosividade e altura de chuva nos diversos tratamentos;
- c) a produção de massa seca de parte aérea das culturas de aveia preta, nabo forrageiro e ervilhaca comum em consórcio utilizadas no período de outono/inverno, bem como os componentes de rendimento da cultura do milho e a viabilidade econômica desse plano de recuperação, foi avaliada.

5 MATERIAL E MÉTODOS

5.1 LOCAL DE ESTUDO E TIPO DE SOLO

O experimento está instalado desde 1988, em condição de chuva natural, no Campus do Centro de Ciências Agroveterinárias de Lages (SC), Universidade do Estado de Santa Catarina (CAV/UDESC), localizado entre 27° 49' S e 50° 20' W, a 923 m de altitude, na região do Planalto Sul Catarinense (Figura 1).

Figura 1 - Localização da área experimental (b) no município de Lages (a), SC



Fonte: Google Maps, 2018

O clima é do tipo Cfb (subtropical, úmido, sem estação seca, com verões frescos e geadas frequentes no inverno) segundo a classificação de Köeppen, com temperatura média anual de 15,7° C, precipitação média anual de 1.533 mm e erosividade média anual de 5.033 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ (SCHICK et al., 2014a). A área experimental apresenta declividade média de 0,102 m m⁻¹ e o solo é um Cambissolo Húmico alumínico léptico (EMBRAPA, 2013), argiloso com substrato composto de siltitos e argilitos, com erodibilidade de 0,0175 Mg ha h ha⁻¹ MJ⁻¹ mm⁻¹ (SCHICK et al., 2014b). Na tabela 1 são apresentadas as características físicas e químicas obtidas pela descrição de um perfil do solo na área do experimento.

Tabela 1 - Características físicas e químicas do Cambissolo Húmico Alumínico léptico de Lages (SC), referentes ao perfil no local do experimento.

Característica	Horizonte					
	Ap	A2	B/A	B	B/C	C
				Camada (cm)		
	0-20	20-34	34-53	53-75/82	75/82-105	105 +
Propriedades físicas						
Argila (%)	40	40	42	46	52	32
Silte (%)	42	40	41	40	35	65
Areia fina (%)	11	10	10	9	8	2
Areia Grossa (%)	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 ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$)	0,38	0,42	0,40	0,42	0,48	-
Macroporosidade ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$)	0,09	0,06	0,06	0,04	0,03	-
Taxa constante de infiltração (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 ($\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$)	2,63	3,05	0,68	0,45	0,72	0,29
Mg trocável ($\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$)	2,17	2,33	0,78	0,68	0,70	0,31
Al trocável ($\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$)	2,27	3,47	5,89	6,52	3,96	4,68
pH H_2O (1:1)	5,7	5,2	4,9	4,5	4,1	4,0

Fonte: Guadagnin (2003)

5.2 HISTÓRICO DA ÁREA EXPERIMENTAL

A área experimental, inicialmente coberta por gramíneas nativas, foi utilizada com pastagem cultivada (gramíneas e leguminosas consorciadas) durante quatro anos, antes de ser destinada, em outubro de 1988, ao estudo da erosão hídrica. Na implantação do experimento, a área foi corrigida para elevar o pH do solo a 6,0, com 12 Mg ha^{-1} de calcário dolomítico, incorporado com duas arações e duas gradagens a 20 e 15 cm de camada, respectivamente, executadas transversalmente ao declive. Imediatamente após, instalou-se as parcelas experimentais (SCHICK, 2014).

De acordo com Schick (2014) o estudo da erosão hídrica foi iniciado no experimento em 11/1988, havendo um período de pousio entre 11/1991 a 10/1992, no qual não foram realizadas avaliações. Após este período o experimento foi reinstalado com novo preparo e aplicação de calcário para elevar o pH do solo a 6,0, com aplicação de $3,5 \text{ Mg ha}^{-1}$ de calcário dolomítico, sendo incorporado pelo preparo convencional com uma aração e duas gradagens.

Em março de 2012, realizou-se uma nova calagem em todas as unidades experimentais, ou parcelas, que continham cultivos; nas parcelas testemunhas no qual o solo era mantido sem cobertura, não foi aplicado calcário. As doses utilizadas foram calculadas de acordo com análise de solo da camada de 0 - 10 cm, para elevação do pH em água a 6,0, sendo incorporado de acordo com o manejo de cada tratamento; na semeadura direta fez-se uma semi-incorporação com uma gradagem leve (SCHICK, 2014).

Entre outubro de 2012 e setembro de 2014 fez-se a uma nova pesquisa com aplicação de dejeto líquido de suínos, com duração de dois anos, onde foram aplicados em cada unidade experimental $50\text{ m}^3\text{ ha}^{-1}$ de dejeto, em quatro vezes distintas durante o período de estudo, imediatamente após a plena germinação de cada cultura (BANDEIRA, 2015).

Os tratamentos de preparo do solo, até o período de abril de 2015, consistiam em: 1) semeadura direta, sem preparo do solo e semeado duas vezes ao ano (SD); 2) solo cultivado sob rotação de preparamentos duas vezes ao ano para implantação das culturas, com a seguinte ordem de preparamentos: uma aração + duas gradagens, uma escarificação + uma gradagem, uma gradagem e semeadura direta (RP); 3) solo cultivado sob cultivo mínimo, com uma escarificação + uma gradagem duas vezes ao ano para implantação das culturas (CM); 4) solo cultivado sob preparo convencional, com uma aração + duas gradagens duas vezes ao ano para implantação das culturas (PC); e 5) solo sem cultivo, preparado com uma aração + duas gradagens duas vezes ao ano, na mesma época de preparo dos demais tratamentos, sendo a superfície do solo mantida permanentemente livre de vegetação, caracterizando a parcela-padrão da USLE (SC). Os dados de precipitação, erosividade e perdas de água são apresentados nas tabelas 2 e 4. Os dados de erodibilidade e perdas de solo são apresentados na tabela 3. Ao longo dos anos foram cultivadas as espécies vegetais de milho, feijão e soja, no período de primavera/verão, e de aveia preta, ervilhaca comum, nabo forrageiro e trigo, no período de outono/inverno.

Tabela 2 - Médias históricas mensais de 1989 a 2012 de precipitação em volume, índice de erosividade e perdas de água em metros cúbicos por tratamento (SCHICK, 2014).

Média 1989/2012	Precip.	EI30	Perdas de água				
			SD	RP	CM	SC	PC
Mês	m ³	MJ mm ha h	m ³				
Janeiro	1363,5	759,7	11,2	21,5	17,6	37,7	73,8
Fevereiro	1049,0	591,6	16,3	24,2	28,6	51,0	93,8
Março	756,8	389,6	3,4	11,2	8,4	18,1	48,1
Abril	868,8	352,5	34,4	44,9	50,8	76,1	126,8
Maio	940,5	275,2	69,7	61,3	99,3	125,0	182,1
Junho	861,6	190,0	42,6	42,3	73,3	98,1	162,1
Julho	1150,5	282,6	39,4	55,4	58,3	93,7	138,0
Agosto	877,0	229,6	39,9	58,2	52,4	65,2	102,1
Setembro	1386,3	446,5	79,6	122,0	108,7	144,1	189,2
Outubro	1511,3	551,8	48,6	72,8	73,9	99,5	153,5
Novembro	1075,8	510,6	28,8	55,3	41,6	82,1	107,5
Dezembro	946,1	453,4	7,0	13,8	19,9	31,4	58,9
Total	12787,0	5033,2	420,8	582,9	632,8	922,0	1435,8

Nota: SD sistema de semeadura direta; RP: rotação de preparo; CM: cultivo mínimo; DES: solo descoberto e SSC: sistema de semeadura convencional.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

Tabela 3 - Médias históricas mensais de 1989 a 2012 do fator de erodibilidade (K) e perdas de solo em toneladas por hectare e em mm por tratamento (SCHICK, 2014).

Média 1989/2012	K	Perdas de solo				
		Mg ha h ha ⁻¹ MJ ⁻¹ mm ⁻¹	SD	RP	CM	PC
Mês					t ha ⁻¹	
Janeiro	0,016	0,046	0,053	0,175	0,300	9,667
Fevereiro	0,022	0,230	0,046	0,346	1,074	14,929
Março	0,021	0,013	0,021	0,022	0,104	7,659
Abril	0,024	0,075	0,132	0,212	0,394	8,530
Maio	0,023	0,179	0,049	0,261	0,402	5,863
Junho	0,011	0,050	0,040	0,148	0,246	2,075
Julho	0,018	0,101	0,103	0,189	0,493	4,647
Agosto	0,015	0,048	0,061	0,131	0,278	2,843
Setembro	0,015	0,080	0,126	0,153	0,407	6,658
Outubro	0,019	0,196	0,318	0,393	0,887	11,952
Novembro	0,014	0,131	0,209	0,226	1,456	6,650
Dezembro	0,008	0,026	0,047	0,088	0,676	3,401
Total	1,174	1,203	2,344	6,717	84,873	
Total (mm)	2,08	2,13	4,15	11,88	150,15	

Nota: SD sistema de semeadura direta; RP: rotação de preparo; CM: cultivo mínimo; SC: solo descoberto e PC: sistema de semeadura convencional.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

Tabela 4 - Médias históricas de 1989 a 2012 de precipitação em altura, índice de erosividade e perdas de água em porcentagem da chuva por tratamento (SCHICK, 2014).

1989/2012	Precip.	EI30	Perdas de água				
			SD	RP	CM	PC	SC
	mm	MJ mm há h	-----%-----				
Total	1278,7	5033,2	9,2		15,3	24,2	38,0

Nota: SD sistema de semeadura direta; RP: rotação de preparo; CM: cultivo mínimo; SC: solo descoberto e PC: sistema de semeadura convencional.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

5.3 UNIDADE EXPERIMENTAL E TRATAMENTOS

Antes da implantação dos tratamentos efetuou-se a correção de acidez do solo com aplicação de calcário dolomítico (PRNT 80%) para elevar o pH a 6,0 (CQFS RS/SC, 2004) e adubação para corrigir os teores de P com uso de superfosfato triplo (41% P₂O₅) e de K com cloreto de potássio (58% K₂O), sendo a quantidade de fertilizantes aplicados de acordo com as recomendações de CQFS RS/SC (2004). O calcário e os fertilizantes foram incorporados ao solo mediante a realização do preparo padrão de cada tratamento anterior a transição do manejo para semeadura direta (Tabela 5).

O experimento vem sendo conduzido em unidades experimentais de 3,5 x 22,1 m (77,35 m²), em duas repetições. Cada parcela está delimitada por chapas galvanizadas nas laterais e extremidade superior e por calha coletora de enxurrada na sua extremidade inferior, a qual está conectada a um cano de PVC que conduz a enxurrada até o ponto de coleta situado 6 m abaixo da parcela, a um primeiro tanque, de sedimentação, com capacidade aproximada de 750 L (Figura 2a,b). Este, por sua vez, está ligado, através de um divisor de enxurrada tipo “Geib”, a um segundo tanque, de armazenagem, também com capacidade aproximada de 750 L. O divisor “Geib” permite a passagem de 1/9 da enxurrada do primeiro para o segundo tanque (SCHICK, 2014).

Em cada um dos cinco tratamentos descritos anteriormente está sendo realizada mudança no manejo para o sistema de semeadura direta, os quais são diferenciados uns dos outros pelo manejo anterior ao processo de transição, sendo eles: (SD1) semeadura direta consolidada, com manejo anterior também sob semeadura direta, constituindo-se agora no tratamento testemunha; (SD2) semeadura direta implantada após rotação de preparos; (SD3) semeadura direta implantada após cultivo mínimo; (SD4) semeadura direta implantada após preparo convencional; e (SD5) semeadura direta implantada após solo sem cultivo e descoberto.

Tabela 5 - Quantidades de calcário dolomítico e adubos aplicados em cada parcela para corrigir a acidez e elevar os teores de nutrientes para as mesmas condições em cada parcela experimental.

Parcela	Calcário	SFT (P_2O_5)	KCL (K_2O)
	$Mg\ ha^{-1}$	$Kg\ ha^{-1}$	$Kg\ ha^{-1}$
1 (SD1)	5,4	30	30
2 (SD2)	1,6	60	30
3 (SD3)	2,0	60	30
4 (SD4)	8,4	150	60
5 (SD5)	4,2	90	30
6 (SD2)	2,0	30	30
7 (SD4)	8,4	150	30
8 (SD1)	5,4	30	30
9 (SD5)	5,4	90	30
10 (SD3)	1,6	60	30

Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

Durante o outono/inverno de cada ano, os tratamentos foram cultivados com um consórcio de espécies destinadas para cobertura do solo, utilizando a aveia preta (*Avena strigosa*), o nabo forrageiro (*Raphanus sativus*) e a ervilhaca comum (*Vicia sativa*), na densidade de semeadura respectivamente de 30, 10 e 40 kg ha^{-1} (WOLSCHICK, et al. 2016), espalhadas de forma manual a lanço (Figura 4a). Nos cultivos de primavera/verão foi utilizado milho (*Zea mays*) (Figura 4b), semeado na densidade de 60 mil sementes ha^{-1} , com auxílio de semeadora manual (matraca) espaçadas entre linhas de 87,5 cm, como mostra a figura 3. Na safra de 2015/16 utilizou-se o híbrido Dekalb 390, semeado em 28 de novembro de 2015, na safra 2016/17, o híbrido AS 1666 PRO 3 UYH 00542 MAXIM, semeado em 11 de novembro de 2016, e o híbrido AG 9025 PRO, semeado em 07 de novembro 2017, para a safra 2017/18.

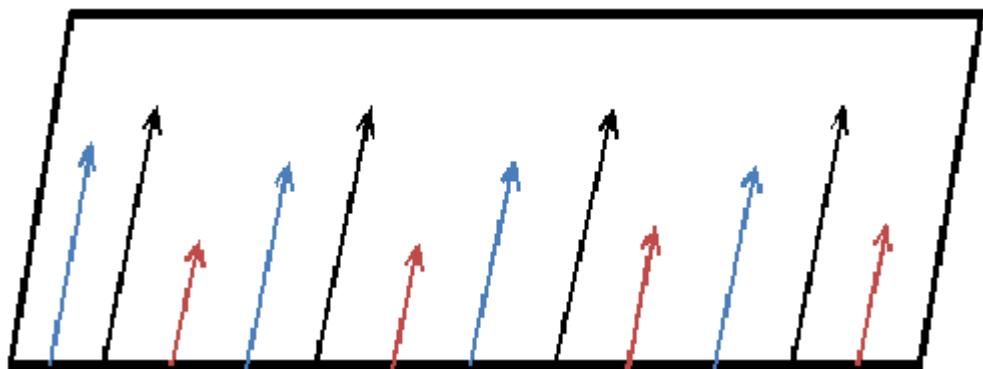
A adubação é realizada de acordo com a necessidade das culturas, com aplicação de P, na forma de superfosfato triplo (41% P_2O_5), na dose de 350 kg ha^{-1} e para o K, na forma de cloreto de potássio (58% K_2O), na dose de 180 kg ha^{-1} (CQFS RS/SC, 2004). Para o milho a fertilização com N na forma de Ureia (46% N) é efetuada em duas etapas, sendo a primeira no momento da semeadura e a segunda na fase de quatro folhas expandidas (V4), nas doses de 35 e 195 kg ha^{-1} , respectivamente. O controle de plantas invasoras é realizado manualmente ou quimicamente, dependendo do grau de infestação.

Figura 2 - Unidade experimental (a) e tanques de sedimentação e armazenagem (b).



Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

Figura 3 - Disposição das quatro linhas de milho, onde cada cor representa um ano, de modo que entre um e outro ano as linhas não se sobreponham uma às outras, nos três anos de cultivo. Flechas em preto correspondem ao primeiro ano; em azul ao segundo ano e em vermelho ao terceiro ano de cultivo.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

Figura 4 - Cultivo do solo com consórcio de aveia preta (*Avena strigosa*), nabo forrageiro (*Raphanussativus*) e ervilhaca comum (*Vicia sativa*) (a), e cultivo do milho (*Zeamays*) (b)



Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

5.4 COLETAS E DETERMINAÇÕES NO SOLO

As avaliações dos atributos físicos, químicos do solo são feitas entre os anos de 2015 e 2018, em dois momentos distintos. A primeira coleta foi realizada em 06/2015, antes da implantação dos tratamentos, enquanto a segunda coleta feita em 03/2018, ao final da pesquisa.

5.4.1 Determinações físicas do solo

Amostras com estrutura não deformada, foram coletadas em anéis volumétricos, com volume de 70,69 e 141,37 cm³ (anéis de 2,5 X 6,0 cm; e 5,0 X 6,0 cm respectivamente), nas camadas de 0,0 a 2,5; 2,5 a 5,0; 5,0 a 10,0; 10,0 a 20,0; e 20,0 a 40,0 cm, em duas subamostras por parcela (Figura 5 a). No laboratório, os anéis foram saturados e submetidos às tensões de 1 e 6 kPa em mesa de coluna de areia, e posteriormente secos em estufa a 105°C por 48 h, conforme método descrito por EMBRAPA (1997).

Figura 5 - Coleta de solo em anéis volumétricos (a) e avaliação da resistência do solo à penetração mecânica (b)



Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

A densidade do solo obtida pela divisão da massa do solo seco pelo volume do anel. O volume total de poros é determinado pela diferença das massas do solo saturado e seco, dividido pelo volume do anel; o volume de bioporos e microporos são obtidos pela diferença da massa de solo após tensão de 1 e 6 kPa, respectivamente, e a massa de solo seco, dividido pelo volume do anel; e o volume de macroporos pela diferença entre o volume total de poros e o volume de microporos.

No momento da amostragem de solo com estrutura não deformada, foram coletadas amostras deformadas de solo nos mesmos locais, e nas mesmas camadas, as quais são utilizadas para determinação da estabilidade dos agregados em água pelo método padrão de via úmida (KEMPER e CHEPIL, 1965) e grau de floculação das argilas pelo método do Densímetro Simplificado descrito em Luciano et al. (2010).

A resistência do solo à penetração mecânica (RP) foi determinada no campo, com uso de um penetrógrafo digital, modelo penetro LOG-Falken- PLG1020 (Figura 5 b), sendo realizadas 10 medidas aleatórias de RP por parcela na camada de 0 a 40 cm; no mesmo momento coletou-se amostras de solo para determinação da umidade.

5.4.2 Determinações químicas do solo

Uma parte das amostras de solo com estrutura deformada e seca ao ar, moída e passada em peneira com malha de 2 mm (Terra Fina Seca ao Ar), foi utilizada para as determinações químicas (Figura 6) de pH em água e em SMP, P extraível (leitura em espectrofotômetro de absorção molecular na região visível em 882 nm) (Mehlich 1) (MURPHY & RILEY, 1962), K e Na trocáveis (leitura em espectrofotômetro de emissão atômica em chama), Ca e Mg trocáveis (leitura em espectrofotômetro de absorção atômica em chama) e Al trocável (leitura por titulometria). Estas metodologias estão descritas em Tedesco et al. (1995). O carbono orgânico total (COT) é quantificado pelo método de combustão úmida, com oxidação dos compostos orgânicos por dicromato em composto ácido, com aplicação de calor externo (150°C por ~ 1 min) para completa oxidação dos compostos, conforme descrito em Tedesco et al. (1995).

Figura 6 - Extração de espécies químicas do solo para posterior leitura e quantificação de cada espécie



Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

5.5 QUANTIFICAÇÃO DA EROSÃO HÍDRICA DO SOLO

Durante o período de realização da pesquisa, entre 2015 e 2018, foi efetuada a coleta e quantificação da erosão hídrica conforme método descrito em Cogo (1978), considerando as chuvas erosivas. Os dados de perda de solo foram ajustados para a declividade padrão da USLE, ou seja, $0,09 \text{ m m}^{-1}$, por meio do fator grau de declive, conforme proposto por Wischmeier e Smith (1978). O critério adotado para a definição das chuvas erosivas foi o de Wischmeier e Smith (1958), modificado por Cabeda (1976). Um pluviograma (modelo IH-01-01), com amplitude de registro de 10 mm de precipitação e incremento de 0,1 mm, com tempo

de registro de 24 h e unidade de 10 min, era acionado por um pluviógrafo instalado a 600 m da área experimental (Figura 7 a b).

O pluviógrafo registrava a distribuição do volume das chuvas no tempo, permitindo a associação da erosividade e do volume das chuvas respectivamente com as perdas de solo e perdas de água por erosão. Nos pluviogramas diários (Figura 7 c), as chuvas erosivas foram cotadas manualmente em segmentos de intensidade uniforme, e registradas em planilhas (SCHICK, 2014). Posteriormente, utilizou-se o programa Chuveros, desenvolvido pelo Dr. Elemar Antonino Cassol (UFRGS), para calcular a erosividade das chuvas (índice EI30) segundo Wischmeier e Smith (1978). No referido programa, as unidades foram convertidas para o Sistema Internacional de Unidades, de acordo com Foster et al. (1981).

Figura 7 - Pluviômetro, pluviógrafo (a) e pluviograma para o registro da precipitação (b)



Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

As chuvas foram separadas em: a) padrão avançado (AV), quando a maior intensidade ocorreu no terço inicial do tempo total de duração da chuva; b) padrão intermediário (IN), quando a maior intensidade se verificou no terço intermediário; c) padrão atrasado (AT),

quando a maior intensidade se deu no terço final do tempo total de duração da chuva (Horner & Jens 1941). A classificação original das chuvas proposta por Horner & Jens (1941) separa o tempo total de duração das chuvas em três partes iguais, ou seja, os padrões estão entre 0 e 33,3; 33,3 e 66,6 e 66,6 e 100% do tempo total de duração das chuvas.

Após a ocorrência de cada evento de chuva erosiva, se registrava as alturas de enxurrada dentro dos tanques e, em seguida, retirava-se uma amostra de 50 mL de água para análise do teor de nutrientes. Para isso, as amostras eram filtradas em filtro de 0,45 µm de diâmetro de poros para posterior análise química. Após, se homogeneizava a enxurrada e, dela, se coletavam amostras, utilizando-se frascos de vidro numerados, com capacidade de 300 mL, em número de dois por tanque (Figura 8). Quando necessário, os sedimentos eram retirados de dentro dos tanques (quando a sua quantidade assim exigia) e pesados. O produto da altura de enxurrada nos tanques pela área dos mesmos forneceu o volume de enxurrada.

Com estas amostras se determinou a concentração de sedimentos na enxurrada e a massa de sedimentos existentes na suspensão. Para isso, no laboratório, adicionava-se de três a cinco 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 h após, sifonando-o com uma mangueira plástica, 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, quando se contabilizava a quantidade de sedimentos (SCHICK, 2014).

A partir das amostras de sedimentos secos nos frascos de vidro, se calculava a massa de solo contida em suspensão nos tanques, relacionando-se com o volume de enxurrada dos tanques. Estes valores eram adicionados aos de massa de solo seco e volume de água contido nos sedimentos, permitindo obter as perdas totais de solo ($Mg\ ha^{-1}$) que ocorriam em cada chuva.

Figura 8 - Coleta de campo após o evento de chuva erosiva em cada parcela



Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

As amostras para quantificação dos nutrientes na água, foram compostas de 5 mL por chuva, nos três primeiros cultivos, formando uma amostra composta por cultivo para determinação dos teores de P, Na, K, Ca e Mg solúveis na água. Já nos três cultivos finais, as coletas de água para determinação de nutrientes, forma realizadas individualmente para cada chuva erosiva. Também foram coletadas amostras de sedimentos erodidos que ficaram depositados nas calhas das parcelas, as quais eram secas em estufa com temperatura de 55 – 60 °C e armazenadas até o final do ciclo de cada cultura, constituindo uma amostra composta dos sedimentos por cultivo. Nestas amostras, foram determinados os teores extraíveis de P, K, Ca e Mg nos sedimentos. As metodologias utilizadas para determinação dos teores de P descritas por Murphy & Riley, (1962), Na, K, Ca, e Mg estão descritas em Tedesco et al. (1995). As perdas totais dos nutrientes foram calculadas pelo produto do teor do elemento na água pela perda total de água, enquanto as perdas nos sedimentos quando houve, pelo produto do teor do elemento nos sedimentos pela perda total de sedimentos.

5.6 AVALIAÇÃO DAS CULTURAS

Ao final de cada cultivo, no momento em que as culturas de cobertura do solo atingiam o pleno florescimento, efetuou-se coleta da parte aérea das plantas para quantificar a produção de massa verde e seca. Para isso, era coletada toda a massa vegetal de três pontos de cada parcela (quadrado de 60 x 60 cm). A coleta procedia-se com o corte rente ao solo de todo material vegetal, e posteriormente efetuava-se a pesagem para quantificar a massa verde. Em seguida o material era levado para estufa com circulação forçada de ar a uma temperatura de 60 °C até atingir massa constante para quantificação da massa seca. Já no ano de 2016,

quantificou-se a massa seca de raízes. Para isso, utilizou-se um trado de ferro de formato cilíndrico com 5,5 cm de diâmetro. Após procedeu-se, em laboratório, a separação do solo e das raízes, conforme descrito em Wolschick et al. (2016). Para a cultura do milho, na qual se avaliava a produção de biomassa vegetal e o rendimento de grãos, coletavam-se dez plantas nas duas fileiras centrais em cada parcela, descartando-se 10 metros na extremidade das referidas linhas. Com isso, determinava-se a massa seca, altura de inserção da espiga, altura da planta, diâmetro de colmo. Com as espigas, avaliou-se o diâmetro da espiga, o comprimento, numero de fileiras de grãos e numero de grãos por fileira, bem como o rendimento de grãos, e o peso de um mil grãos. Da palha se retirava uma amostra para quantificação da massa seca. As espigas e as amostras de palha eram secas em estufa de circulação de ar a 60 °C, até peso constante.

5.7 AVALIAÇÃO DOS CUSTOS DE PRODUÇÃO DAS CULTURAS E DE RECUPERAÇÃO QUÍMICA DO SOLO DEGRADADO NO TRATAMENTO SOLO SEM CULTIVO

Para o cálculo dos custos de produção das culturas e de recuperação do solo degradado quimicamente no tratamento solo sem cultivo (SC), montou-se uma planilha de custos para registrar os valores gastos com correção da acidez e fertilidade do solo (Tabela 6).

Tabela 6 - Planilha de custo de recuperação química do solo da parcela 4, mantida na condição de solo sem cultivo, preparado com uma aração + duas gradagens duas vezes ao ano, sendo a superfície mantida permanentemente livre de vegetação

COMPONENTE	Especificação	Uni.	Quantidade	Valor unitário (R\$)	Valor total (R\$)
INSUMO					1403,52
Calcário	1 aplicação	t	8,4	131,09	1101,15
Adubo de base	SFT (41% P ₂ O ₅)	t	0,15	1430,00	214,50
Adubo de base	KCL (58% K ₂ O)	t	0,06	1464,50	87,87
SERVIÇO					292,44
Apli.de calcário	Trator+dist. calcário	H	0,6	102,54	61,52
Apli.de adubos	Trator+dist. Adubos	H	0,3	94,40	28,32
Gradagem	Trator+grade niveladora	H	1,6	63,43	101,48
Subsolagem	Trator+subsolador	H		100,37	0,00
Aração	Trator+ARADO	H	1	101,11	101,11
TOTAL					1695,96

Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

Assim, para esse tratamento calculou-se o custo de recuperação de uma parcela, ou seja, uma das repetições (parcela 4) para, posteriormente, chegar-se ao valor monetário desse

custo e, com isso, estimar-se, por projeção temporal, o período de tempo necessário para se obter retorno financeiro do investimento realizado com a recuperação do solo nessa área. O mesmo procedimento de cálculo será efetuado nas demais parcelas do experimento. Já para os custos de produção da cultura do milho, utilizou-se a planilha de componentes, apresentada na Tabela 7.

Tabela 7 - Planilha de custo de produção da cultura do milho na parcela 4 na safra de 2015/16, para o Cambissolo Húmico para Lages, SC.

COMPONENTE	Especificação	Uni.	Quant.	Valor unitário (R\$)	Valor total (R\$)
INSUMO					3330,90
Sementes inverno	aveia/nabo/ervi.	kg	30 10 40	5,00; 12,00; 13,00	790,00
Semente milho	DEKALB 390	sc	1,16	900,00	1044,00
Adubo de base	SFT (41% P ₂ O ₅)	t	0,35	1430,00	500,50
Adubo de base	KCL 58% (K ₂ O)	t	0,18	1464,50	263,61
Adubo de base	UREIA (46% N)	t	0,03	1526,25	45,79
Herbicida dessec.	Roundup	L	1,5	25,50	38,25
Herbicida pós emer.	Roundup	L	1,5	25,50	38,25
Adubo de cobertura	Uréia (46% N)	t	0,2	1526,25	305,25
SERVIÇO					684,77
Semeadura inverno	Trator+dist. Sem.	H	0,6	79,49	47,69
Aplicação dessec.	Trator+pulverizador	H	0,6	87,64	52,58
Plantio/adubação	Trator+plantadeira	H	1	124,52	124,52
Aplicação herbicida	Trator+pulverizador	H	0,6	87,64	52,58
Adubação cobertura	Trator+dist. ureia	H	0,6	79,49	47,69
Colheita Mecânica	Colhedora média	h	1	359,69	359,69
RECEITA					
Cultura de Milho	Produtividade	Sc ha ⁻¹	125,6	43,37	5447,27
LUCRO					2116,37

Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

5.8 TRATAMENTO ESTATÍSTICO

Após verificação da pressuposição teórica, os dados foram submetidos ao teste de Shapiro-Wilk. Constatada a normalidade, efetuou-se a análise de variância seguida por comparação das médias pelo teste de Tukey quando necessário. Não se obtendo normalidade, mesmo após transformações, os dados foram comparados por meio do teste de Kruskal Wallis. Em todos os testes adotou-se o nível mínimo de significância de 5% e utilizou-se o programa ASSISTAT.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 NÚMERO, ALTURA E EROSIVIDADE DAS CHUVAS

Nesta pesquisa foi registrado um total de 310 chuvas naturais (Tabela 8), das quais, 141 foram classificadas como chuvas erosivas, ou seja, com altura superior a 10 mm com intervalo de até 6 horas sem chuva, e/ou 6 mm em até 15 minutos. O número de chuvas não erosivas foi de 169 eventos, caracterizados com altura inferior a 10 mm num intervalo superior a 6 horas. As chuvas erosivas e não erosivas representaram 45,5 e 54,5% do total de chuvas, respectivamente. Resultado semelhante observado por Schick et al. (2014), na média histórica de 20 anos (1989 a 2012), com 44 e 56 % de chuvas erosivas e não erosivas, e Bertol (2002), que com 10 anos (1989 a 1998) observou 45% de chuvas erosivas do total de chuvas. Bertol (1993) havia observado 39% de chuvas erosivas em relação ao total (1981 a 1990). O mês de outubro de 2015 foi o mês que apresentou o maior número de chuvas totais, com 18 eventos, dos quais 8 erosivos, enquanto o mês de julho de 2017 apresentou somente duas chuvas, ambas não erosivas. Esses resultados mostram a grande variabilidade temporal do número de chuvas naturais, erosivas e não erosivas para a localidade de Lages – SC.

O mês de setembro de 2015 apresentou o maior volume total de chuvas com 333 mm (Tabela 8), dos quais 320 foram de eventos caracterizados como chuvas erosivas. O mês de julho de 2017, apresentou o menor volume, com 8 mm, divididos em duas chuvas com características não erosivas. A precipitação pluvial média anual em Lages é de 1.533 mm, segundo (Schick et al. 2014). Nesta pesquisa foram observados 1.366 e 1.403 mm para os anos de 2016 e 2017, respectivamente, inferiores, portanto, à média histórica. Podemos observar uma distribuição desuniforme entre os meses dos anos em relação ao número de chuvas erosivas e não erosivas.

Nos três primeiros cultivos o número de chuvas erosivas foi maior em relação às não erosivas, com 54, 58 e 55% do total (Tabela 9). Nos três últimos cultivos, as chuvas não erosivas predominaram com 73, 65 e 65% do total de chuvas, conforme Schick et al. (2014), o período de primavera-verão é responsável por 57% do número de chuvas erosivas. Na presente pesquisa não se observou este padrão, possivelmente pelo curto período de observação (6 cultivos), atípico em relação ao longo período estudado por Schick et al. (2014). No entanto, ao se comparar os cultivos em relação ao volume de chuvas, observa-se predominância dos eventos erosivos sobre os não erosivos, com 84% do total do volume precipitado. Resultado semelhante foi observado por Schick et al. (2014), e por Bertol (2002),

para a mesma localidade da presente pesquisa. Schick et al. (2014), chamam a atenção para a necessidade do uso de práticas conservacionistas na região, devido ao elevado percentual e volume das chuvas erosivas, e para o fato de que chuvas não erosivas não apresentam importância para a erosão hídrica do solo.

O EI₃₀ é o fator de erosividade proposto por Wischmeier & Smith (1958), utilizado como o fator R da Universal Soil Loss Equation (USLE), proposto por Wischmeier & Smith (1978). Este fator é recomendado para diversas regiões do planeta, inclusive para várias regiões do Brasil (Bertol et al. 2002). O valor do fator R foi de 5.735 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹ na média dos anos de 2015, 2016 e 2017 (Biasiolo et al. 2018), sendo que o ano de 2017, apresenta valor de 5.942 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹, (Tabela 8). Para o ano de 2016 o valor observado foi 37% menor, e o ano de 2015, foi 27% maior ao ano de 2017. O valor do índice EI₃₀ recomendado por Schick et al. (2014) como o fator de erosividade para a região de Lages, SC, é de 5.033 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹, na média de 24 anos de observação. Pode-se observar uma diferença entre os valores observados nesta pesquisa e o valor recomendado. Segundo Santos (2008), este valor do EI₃₀ é classificado como de média severidade, semelhante aos observados para outras localidades do sul do Brasil (SCHICK et al. 2014). Rufino (1986), obteve valores médios anuais de EI₃₀ variando de 5.275 a 12.559 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹, para 32 localidades do estado do Paraná, enquanto Bertol (1993) e Schick et al. (2000a), obtiveram valores médios anuais de EI₃₀ de 5.694 e 5.541 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹, para Lages, Bertol (1994), obtiveram 6.329 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹, para Campos Novos, e Beutler (2000), obtive 10.005 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ para Chapecó, ambos no estado de Santa Catarina.

A distribuição do índice de erosividade apresentou grande variabilidade mensal no período estudado, resultante da grande variabilidade temporal das chuvas erosivas (Tabela 8; Figura 9). Os maiores valores para o ano de 2015 foram encontrados nos meses de setembro, outubro e novembro, com valores acima de 500 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ mês⁻¹, enquanto, para o ano de 2016, somente o mês de janeiro apresentou valor superior. No ano de 2017, nos meses de abril, maio, junho e novembro, o EI₃₀ foi superior a 500 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ mês⁻¹, e para os três primeiros meses de 2018, os quais foram observados nesta pesquisa, somente no mês de janeiro foi superior ao limite crítico de 500 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ mês⁻¹, estabelecido por Rufino (1986).

Na média histórica para Lages, os meses de setembro a fevereiro caracterizam o período crítico, com 66 % da erosividade anual (SCHICK et al. 2014). Os autores destacaram os meses de outubro, novembro, janeiro e fevereiro, com valores médios de erosividade acima

do limite crítico. O ano de 2017 apresentou um período com chuvas erosivas de alta intensidade acima da média histórica, o que elevou o valor da erosividade neste período.

Na Tabela 11, são apresentados os valores de erosividade para os eventos individuais de cada evento de chuva erosiva ocorrido durante esta pesquisa. Na mesma tabela 11, podemos notar que os menores valores de erosividade ocorreram no mês de julho para 2017, onde não ocorreu chuva erosiva. Conforme Schick et al. (2014), 43 % da precipitação anual erosiva e total, ocorre nos meses de março a agosto, no entanto apenas 34 % da erosividade anual ocorrem nestes meses. Conforme os mesmos autores, existe uma baixa relação entre erosividade e precipitação neste período, isto não foi observado nesta pesquisa, confirmando ser um período atípico.

Das 158 chuvas erosivas individuais registradas, 99 caracterizam-se como sendo de padrão avançado, perfazendo 61,1% do total de chuvas, enquanto as de padrão intermediário compreenderam apenas 21,5% (Tabela 10). As do padrão atrasado perfizeram a menor porcentagem, com apenas 17,4% do total de chuvas erosivas. Estas proporções diferem das apresentadas por Bernardi et al. (2018), que identificaram o padrão avançado como o mais frequente para a cidade de Lages SC, mesma localidade da referida pesquisa, correspondendo a 53,1% do número total de chuvas erosivas. Enquanto, segundo os autores, os padrões intermediário e atrasado representaram 23,5% e 23,4%, respectivamente, num total de 1.411 chuvas erosivas avaliadas, entre os anos de 1989 e 2016. Comportamento semelhante foi apresentado por Mazurana et al. (2009) para a localidade de Santa Rosa, RS, no qual os padrões avançado, intermediário e atrasado apresentaram 52, 24 e 24% de um total de 1.274 chuvas erosivas.

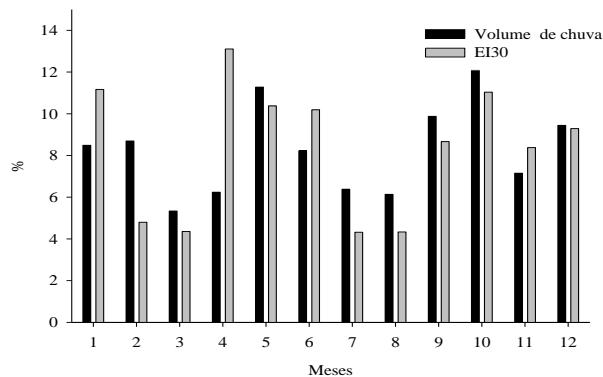
Ao se observar os anos, individualmente, nota-se que ambos diferiram entre si, e em relação à média histórica apresentada por Bernardi et al. (2018), para a mesma localidade da presente pesquisa. Estes padrões apresentaram grande variabilidade temporal e espacial, do mesmo modo como Mehl et al. (2001) observaram para Santa Maria, RS, em que o padrão avançado, foi 46,2%, atrasado 29,1% e o padrão intermediário alcançou apenas 24,7%, do total de chuvas erosivas.

Tabela 8 - Valores mensais do número e altura de chuvas erosivas, não erosivas e o total de chuvas e do EI₃₀ das chuvas erosivas observados no período de 2015 a 2018 em Lages – SC.

Mês/ano	Número de Chuvas			Altura de chuva em mm			EI ₃₀ MJ mm ha ⁻¹ h ⁻¹
	Erosivas	Não erosivas	Total	Erosivas	Não erosivas	Total	
05 2015	2	5	7	44,8	27,0	71,8	115,6
06 2015	3	4	7	111,6	20,1	131,7	389,3
07 2015	8	7	14	177,1	46,9	224,0	379,1
08 2015	2	2	4	55,4	07,5	62,9	288,0
09 2015	10	4	14	320,4	12,6	333,0	1309,1
10 2015	8	10	18	254,0	42,2	296,2	1150,9
11 2015	5	10	15	74,8	42,1	116,9	96,7
12 2015	7	4	11	154,6	16,2	170,8	739,1
Total	45	46	90	1192,7	214,6	1217,3	4467,8
01 2016	4	2	6	93,4	12,9	106,3	666,2
02 2016	5	6	11	215,3	13,2	228,5	383,6
03 2016	5	4	9	108,8	15,8	124,4	325,3
04 2016	4	3	7	100,0	15,1	115,1	480,0
05 2016	5	5	10	91,0	17,8	108,8	407,0
06 2016	1	2	3	17,8	08,1	25,9	13,0
07 2016	2	5	7	68,8	28,4	97,2	305,6
08 2016	6	3	9	96,1	11,2	107,3	235,2
09 2016	2	1	3	26,8	04,5	31,3	34,7
10 2016	8	5	13	180,2	19,1	199,3	454,3
11 2016	3	5	8	45,0	14,8	59,8	103,7
12 2016	4	10	14	110,0	52,3	162,3	318,5
Total	49	51	100	1153,2	213,2	1366,2	3727,1
01 2017	3	7	10	101,2	34,2	135,4	484,8
02 2017	4	2	6	93,2	03,4	96,6	315,2
03 2017	1	9	10	13,4	35,0	48,4	25,6
04 2017	4	3	7	60,2	11,7	71,9	904,6
05 2017	4	4	8	298,6	17,3	315,9	1121,4
06 2017	2	4	6	187,2	17,3	204,5	1212,1
07 2017	0	2	2	00,0	08,0	08,0	00,0
08 2017	3	1	4	84,8	01,0	85,8	163,2
09 2017	1	3	4	33,2	04,5	37,7	29,0
10 2017	4	11	15	57,2	44,8	102,0	143,4
11 2017	4	4	8	155,6	08,8	164,4	1127,4
12 2017	2	5	7	99,2	33,2	132,4	414,3
Total	32	55	87	1183,8	219,2	1403,0	5941,0
01 2018	8	8	16	132,2	36,5	168,7	618,6
02 2018	2	4	6	26,4	21,3	47,7	61,8
03 2018	4	11	15	83,3	41,6	124,9	339,5
2018	14	23	37	241,9	99,4	341,3	1019,9
Total Geral	140	171	310	3771,6	746,4	4327,8	15155,8
Média Geral	4	5	9	107,8	21,3	123,7	433,0
D.P.	2,4	2,9	4,2	77,4	14,2	71,9	377,9
C.V. %	59	58	47	72	67	58	87

Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

Figura 9 - Valores médios mensais dos percentuais do fator de erosividade EI_{30} $MJ\ mm\ ha^{-1}\ h^{-1}$ e do volume das chuvas (mm) obtidas entre 2015 e 2018 em Lages – SC.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

Tabela 9 - Número e altura de chuvas erosivas, não erosivas, total de chuvas e a erosividade pelo EI_{30} em $MJ\ mm\ ha^{-1}\ h^{-1}$ nos períodos de cultivo entre os anos de 2015 e 2018 para Lages, SC.

Período	Número de chuvas			Altura de chuvas em mm			EI_{30} $MJ\ mm\ ha^{-1}\ h^{-1}$
	Erosivas	Não erosivas	Total	Erosivas	Não erosivas	Total	
28 05 2015 a 23 10 2015	33	28	61	1027,8	149,2	1177,0	3040,6
03 11 2015 a 16 05 2016	41	30	71	625,3	125,1	750,4	2392,0
21 05 2016 a 10 11 2016	24	20	44	540,8	81,1	621,9	1098,4
29 11 2016 a 26 04 2017	12	33	45	396,8	137,6	534,4	2114,4
20 05 2017 a 06 11 2017	14	26	40	660,8	98,6	759,4	2765,9
11 11 2018 a 25 03 2018	17	32	49	471,4	141,4	612,8	2367,4
Total	141	169	310	3722,9	733	4455,9	13778,7
Média	24	28	52	620,5	122,2	742,7	121,9
D.P.	11,5	4,8	11,9	221,9	26,8	229,7	178,7
C.V. %	49	17	23	36	22	31	146,6

Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

Tabela 10 - Número (N^o) de chuvas erosivas e respectivas porcentagens em cada padrão de chuvas anuais em Lages – SC

Tipo de chuva	2015		2016		2017		2018		Total	
	N^o	%	N^o	%	N^o	%	N^o	%	N	%
Tipo 1	40	63,49	29	59,18	23	71,88	7	50	99	61,14
Tipo 2	16	25,4	13	26,53	4	12,5	3	21,43	36	21,47
Tipo 3	7	11,11	7	14,29	5	15,62	4	28,57	23	17,40
Total	63	100	49	100	32	100	14	100	158	100
Média	31,5	50,0	24,5	50,0	16,0	50,0	7,0	50,0	79,0	50,0
D.P.	25,2	40,0	18,8	38,3	13,8	43,1	5,0	35,5	62,3	38,7
C.V. %	80	80	77	77	86	86	71	71	79	78

Nota: Tipo 1: chuvas de padrão avançado; Tipo 2: chuvas de padrão intermediário; Tipo 3: chuvas de padrão atrasado. Para o ano de 2018 somente chuvas dos 3 primeiros meses.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

6.2 PERDAS DE SOLO E ÁGUA

6.2.1 Perdas de solo por evento de chuva e por tratamento

As perdas de solo (PS) variaram amplamente entre os tratamentos (Tabela 11), tendo sido de 3,4; 11,6; 12,9; 29,2; e 36,0 kg ha⁻¹ nos tratamentos SD1, SD2, SD3, SD4 e SD5, respectivamente, na média dos três anos de avaliação. A variação temporal das PS é considerada normal devido à variação das chuvas e, principalmente, devido à variação de umidade do solo que influenciou a infiltração de água e a enxurrada. A variação entre os tratamentos, por sua vez, foi influenciada pelo efeito residual de uso da terra e manejo do solo antes de iniciar a pesquisa (Material & Métodos).

Tabela 11 - Valores individuais da altura de chuvas erosivas em mm, fator de erosividade (R) das chuvas apresentado pelo índice EI₃₀ em MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ e perdas de solo observados no período de 2015 a 2018, (média de duas repetições) em Cambissolo Húmico submetido ao sistema de semeadura direta do solo em Lages – SC.

Item	Altura (mm)	EI ₃₀ MJ mm ha ⁻¹ h ⁻¹	SD1	SD2	Perdas de solo (kg ha ⁻¹)		SD5
					SD3	SD4	
Total	3475,6	13778,7	395	1333	1483	3361	4142
Média	30,5	121,9	3,4	11,6	12,9	29,2	36,0
DP	26,3	178,7	7,5	24,0	24,4	51,0	75,8
CV %	86	146	219	206	189	174	210

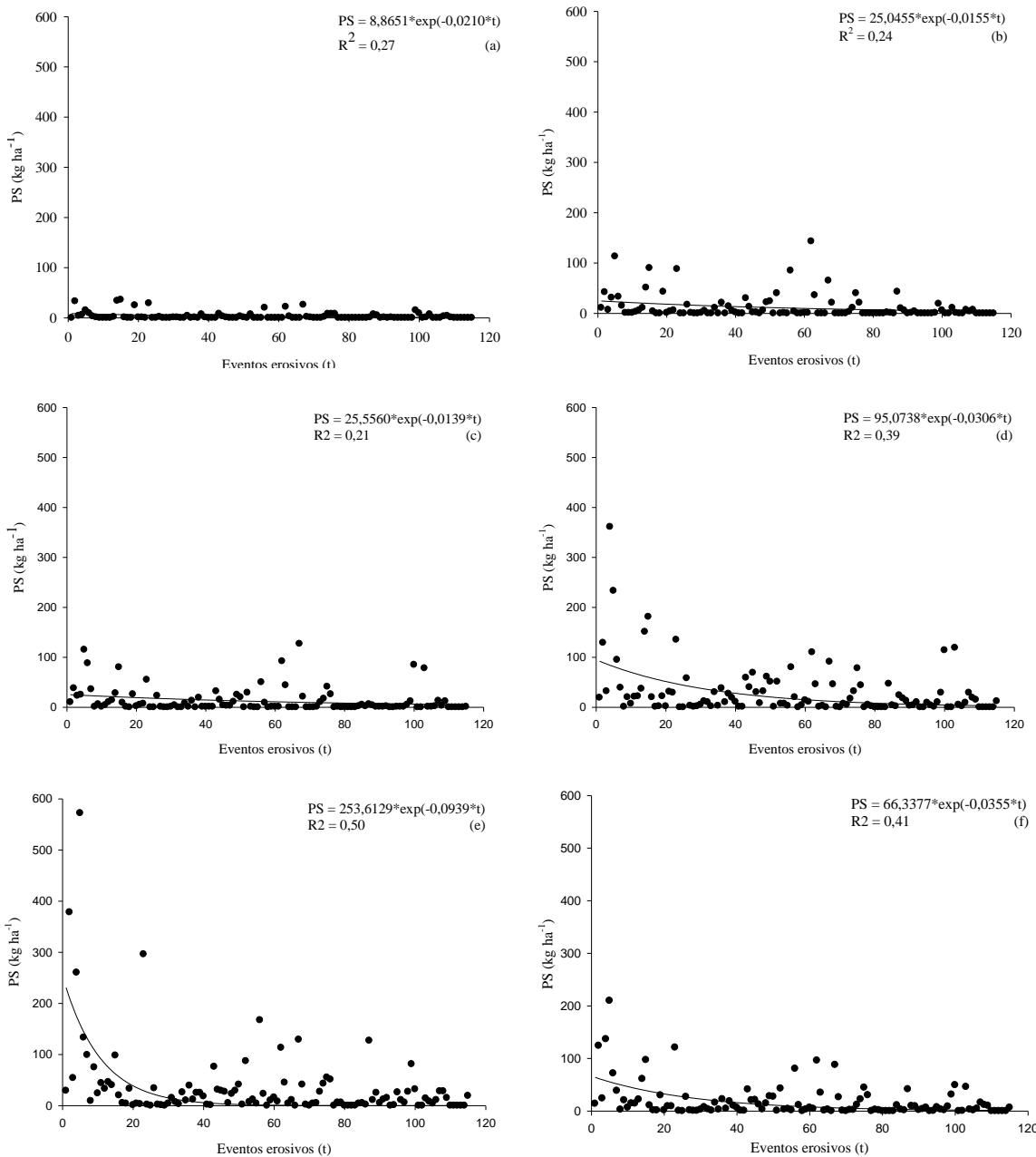
Nota: (SD1) semeadura direta consolidada, com manejo anterior também sob semeadura direta, constituindo a testemunha; (SD2) semeadura direta implantada após rotação de preparamos; (SD3) semeadura direta implantada após preparo reduzido; (SD4) semeadura direta implantada após preparo convencional do solo; e (SD5) semeadura direta implantada sob solo descoberto e sem cultivo.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

A semeadura direta consolidada (SD1) foi o tratamento mais eficaz no controle das PS, com valor de 3,4 kg ha⁻¹ por coleta, na média das coletas, sendo que em grande parte das coletas as perdas foram essencialmente nulas (zero). O tratamento menos eficaz foi a semeadura direta implantada sobre a condição em que o solo anteriormente foi usado sem cultivo, com preparo intenso e descoberto (SD5), no qual as PS por coleta (36,0 kg ha⁻¹ na média das coletas) foram 10,6 vezes maiores do que na SD1.

Nos tratamentos considerados conservacionistas (SD1, SD2 e SD3, Figuras 10 a, b, c), houve uma grande dispersão de pontos que representam as PS durante todo o período da pesquisa.

Figura 10 - Relação entre os eventos de chuvas erosivas e as perdas de solo observadas nos tratamentos SD1 (a), SD2(b), SD3(c), SD4(d), SD5(e) e médias do período(f), durante o período de cultivo entre os anos de 2015 e 2018 para Lages, SC.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

Os pontos localizados acima da linha de regressão exponencial (Figura 10) indicam que algumas chuvas, com maior volume e erosividade, causaram maiores PS, mesmo considerando que esses tratamentos tenham sido conservacionistas de solo. Essa dispersão pode ser explicada pela variação temporal no padrão pluviométrico que determinou a variação de erosividade, como mostram os dados de Schick et al. (2014b), grandemente influenciada

também pela variação de teor de água no solo antecedente às chuvas que determinou a infiltração de água no solo e o escoamento superficial.

Nos tratamentos SD4 e SD5 (Figuras 10 d, e), por sua vez, houve expressiva diminuição nas PS, em comparação aos demais tratamentos, ao longo desta pesquisa, devido à variação de resistência do solo à erosão determinada pelo efeito residual de uso da terra e manejo do solo. É necessário, aqui, relembrar, que o potencial erosivo da chuva é resultante da energia de impacto das gotas de chuva e da energia de cisalhamento do escoamento superficial, associados numa mesma chuva (WISCHMEIER & SMITH, 1958). Na condição de solo cultivado, a proteção do solo pela cobertura superficial de resíduos, faz com que a energia de impacto das gotas seja reduzida, em comparação ao solo nas condições do preparo convencional em que a superfície permanece descoberta (SCHICK et al. 2017).

6.2.2 Perdas de solo mensal

As PS mensais atingiram valores de 11,4; 38,2; 42,9; 96,4 e 130,7 kg ha⁻¹, respectivamente nos tratamentos SD1, SD2, SD3, SD4 e SD5, na média mensal do período avaliado (Tabela 12).

Os valores variaram entre 0 (zero) e 1.064 kg ha⁻¹, considerando os meses e os tratamentos, em acordo com a variação de altura e erosividade das chuvas e de umidade do solo. Entre os tratamentos, as diferenças explicam-se pelo efeito residual de uso da terra e de manejo do solo. Assim, no tratamento SD5 as PS foram 11,4 vezes maiores do que no SD1, na média do período de tempo de estudo. Isso significa que o efeito do manejo pregresso do solo no tratamento SD5, realizado com preparo mecânico intenso, persistiu no período de estudo em comparação ao resíduo de manejo na SD1 onde o solo foi cultivado na forma de semeadura direta.

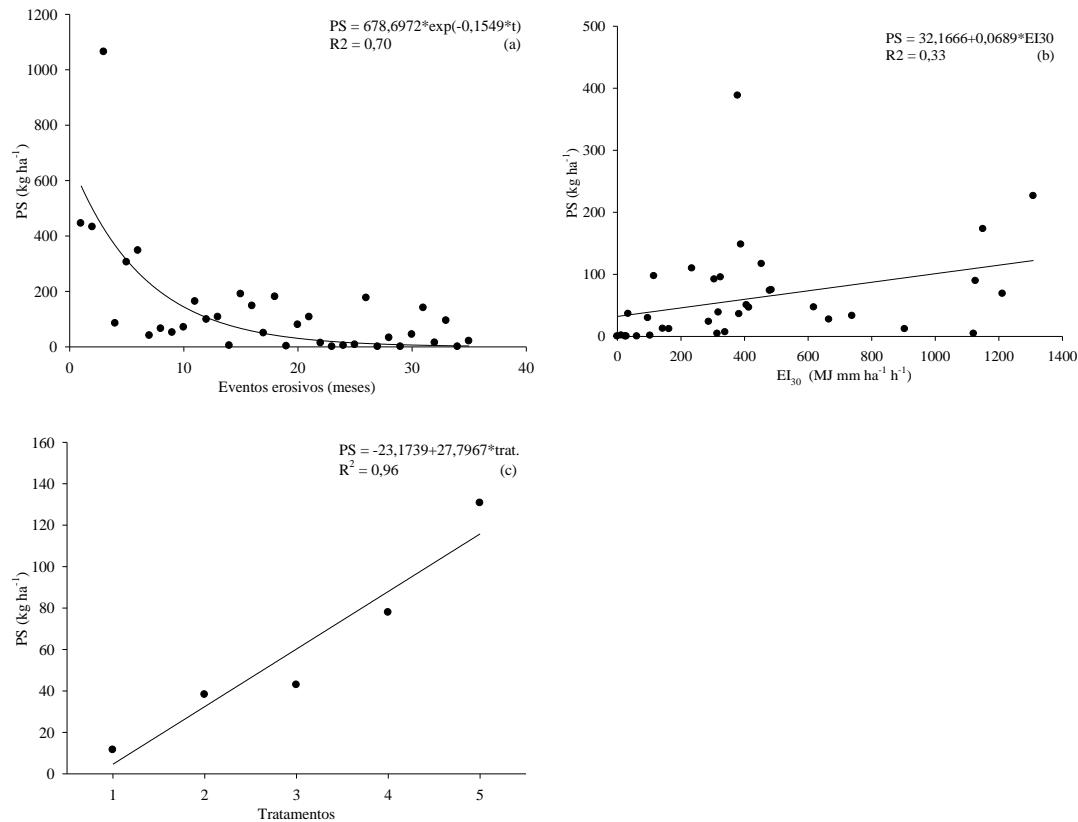
Tabela 12 - Valores mensais de perdas de solo observados no período de 2015 a 2018, (média de duas repetições) em Cambissolo Húmico em Lages – SC.

Mês/ano	Tratamentos				
	SD1	SD2	SD3	SD4	SD5
Perdas de solo (kg ha^{-1})					
05 2015	0	11	10	19	445
06 2015	37	49	61	161	432
07 2015	32	192	264	728	1064
08 2015	2	2	7	22	84
09 2015	74	166	147	439	305
10 2015	56	143	97	222	347
11 2015	3	18	24	62	40
12 2015	6	17	13	64	65
01 2016	1	21	14	48	51
02 2016	9	20	22	58	70
03 2016	12	48	54	198	163
04 2016	5	52	59	153	98
05 2016	7	41	30	66	107
06 2016	0	0	0	3	4
07 2016	20	89	59	100	190
08 2016	22	144	95	139	147
09 2016	4	36	45	47	49
10 2016	28	86	148	141	180
11 2016	1	0	1	1	2
12 2016	10	15	28	60	79
01 2017	16	61	67	122	107
02 2017	0	0	1	7	13
03 2017	0	0	0	0	0
04 2017	1	2	3	48	4
05 2017	1	1	7	5	7
06 2017	15	61	25	66	176
07 2017	0	0	0	0	0
08 2017	1	5	3	17	32
09 2017	0	0	0	0	0
10 2017	0	0	2	15	44
11 2017	24	26	103	153	140
12 2017	8	11	79	119	14
01 2018	8	19	32	80	94
02 2018	0	0	0	0	0
03 2018	0	0	1	12	20
Média	11,5	38,2	42,9	96,4	130,7
D.P.	16,9	51,7	56,7	140,9	201,0
C.V. %	146	135	132	146	154

Nota: (SD1) semeadura direta consolidada, com manejo anterior também sob semeadura direta, constituindo a testemunha; (SD2) semeadura direta implantada após rotação de preparamos; (SD3) semeadura direta implantada após preparo reduzido; (SD4) semeadura direta implantada após preparo convencional do solo; e (SD5) semeadura direta implantada sob solo descoberto e sem cultivo.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

Figura 11 - Relação entre as perdas de solo do tratamento SD5 e os meses (a), erosividade MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ e perdas de solo nas médias mensais dos tratamentos (b) e media mensal dos tratamentos para todo o período (c) dos eventos erosivos obtidos entre os anos de 2015 e 2018 em Lages – SC.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

Comparado com o histórico (1989 a 2012) do experimento (Schick et al., 2014), no entanto, no qual os valores médios mensais de PS foram de 26; 100; 195; 560 e 7.000 kg ha⁻¹, notou-se substancial melhoria das condições do solo quanto à redução de erosão hídrica, em especial no tratamento SD5. Neste tratamento, a referida redução de PS foi de 98,8% comparando os dois períodos (Figura 11 a), em que o coeficiente de determinação foi de 0,70. Na Figura 11 b, a regressão linear entre os valores de PS e erosividade das chuvas resultou num $R^2 = 0,33$, confirmando que, nesse tipo de manejo do solo não houve influência significativa da erosividade das chuvas sobre as PS por erosão. No entanto, na Figura 11 c, por meio da relação linear observa-se que se confirmou a referida influência, pelo efeito residual de uso da terra e manejo do solo neste tratamento. Assim, quanto mais degradado estiver o solo pelo manejo pregresso, como no caso do tratamento SD5, por mais tempo persistem PS elevadas em comparação aos tratamentos que tenham sido pouco degradados na sua vida pregressa, mesmo que o manejo tenha sido melhorado substancialmente, como na presente pesquisa.

6.2.3 Perdas de solo por ciclo de cultivo e por tratamento

Houve clara tendência de diminuição das PS nos três anos de pesquisa, desde seu início (maio de 2015) até seu final (março de 2018), em todos os tratamentos (Tabela 13). No 1º ciclo (28/05 a 23/10/2015), com o cultivo de consórcio aveia preta+nabo forrageiro+ervilhaca comum, a diferença de PS entre o SD1 e o SD5 foi de 15,5 vezes, enquanto, no 6º ciclo (11/11/2017 a 25/03/2018), com o cultivo do mesmo consórcio, essa diferença diminuiu para 5,9 vezes. Isto significa que já no 1º ciclo do período da pesquisa houve substancial melhoria na proteção do solo contra a erosão no tratamento SD5, porque o solo passou a ser usado com cultivo manejado na forma de semeadura direta. Nesse caso, a terra vinha sendo usada sem cultivo e com o manejo à base de solo descoberto.

Tabela 13 - Valores de perdas de solo por ciclo de cultivo observados no período de 2015 a 2018, (média de duas repetições) em Cambissolo Húmico em Lages – SC.

Ciclo de cultivo	Tratamentos				
	SD1	SD2	SD3	SD4	SD5
Perdas de solo (kg ha^{-1})					
28 05 2015 a 23 10 2015	201	563	586	1592	2261
03 11 2015 a 16 05 2016	43	216	215	635	575
21 05 2016 a 10 11 2016	75	355	348	444	591
29 11 2016 a 26 04 2017	26	79	99	237	203
20 05 2017 a 06 11 2017	15	66	29	101	272
11 11 2017 a 25 03 2018	41	56	209	355	241
Média	67	223	248	561	691
D.P.	69	203	199	537	788
C.V. %	103	91	80	96	114

Nota: (SD1) semeadura direta consolidada, com manejo anterior também sob semeadura direta, constituindo a testemunha; (SD2) semeadura direta implantada após rotação de preparos; (SD3) semeadura direta implantada após preparo reduzido; (SD4) semeadura direta implantada após preparo convencional do solo; e (SD5) semeadura direta implantada sob solo descoberto e sem cultivo.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

A diminuição de PS foi de 80% no SD1 e no SD2, 64% no SD3, 78% no SD4 e de 89% no SD5, significando que houve certa semelhança nessa redução entre o início e o final da pesquisa, ou seja, em três anos. Assim, a sucessão de culturas implementadas na pesquisa, com o consórcio aveia preta+nabo forrageiro+ervilhaca comum no outono-inverno e milho na primavera-verão, foi igualmente eficaz na melhoria das condições do solo, em todos os tratamentos, do ponto de vista de sua capacidade de reduzir a erosão. No entanto, o efeito do manejo anterior implementado no solo antes desta pesquisa, nos diversos tratamentos, pode ser observado quando se analisou a média das PS durante a pesquisa, como é demonstrado na

Figura 11 c. Observa-se que as PS foram 11,4 vezes superiores no SD5 do que no tratamento SD1, na média da pesquisa. Assim, quanto mais degradado estiver o solo na vida pregressa, maior é o período de tempo de persistência dessa degradação no período de vida posterior do solo, mesmo que o manejo do solo venha a ser substancialmente melhorado.

Reportando-se ao efeito de preparo do solo na erosão, Bertol et al. (2014) salientaram que altas perdas de solo são explicadas principalmente pela ausência de cultivo e de cobertura do solo. Sem essa proteção, intensifica-se o processo de erosão pelo impacto das gotas de chuva e escoamento superficial, predispondo o solo à desagregação e transporte de sedimentos, mesmo na ausência de preparo do solo. Assim, fica claro que o preparo do solo exerce menos influência do que a cobertura superficial nas PS por erosão hídrica. Esse efeito é maximizado pela cobertura de resíduos culturais.

6.2.4 Perdas de água anual

As perdas de água (PA) não seguiram o mesmo comportamento observado para as PS. A média da pesquisa para os eventos individuais nos tratamentos SD1, SD2, SD3, SD4, e SD5, foram de 7,3; 15,1; 16,5; 29,9; e 28,8%, respectivamente (Tabela 14). Na média histórica apresentada por Schick et al. (2017), as porcentagens de perdas são de 9; 15; 24; e 38%, para os tratamentos correspondentes ao SD1, SD3, SD4, e SD5, respectivamente.

Tabela 14 - Valores individuais de volume e altura de chuvas erosivas e de perdas de água observados no período de 2015 a 2018 (média de duas repetições) em Cambissolo Húmico em Lages – SC.

	Volume m ³	Altura (mm)	Tratamentos				
			SD1	SD2	SD3	SD4	SD5
Média	2,9	30,5	7,3	15,1	16,5	29,9	28,8
DP	2,7	26,3	11,8	20,7	20,0	27,2	24,6
CV %	92	86	162	137	121	91	86

Nota: (SD1) semeadura direta consolidada, com manejo anterior também sob semeadura direta, constituindo a testemunha; (SD2) semeadura direta implantada após rotação de preparos; (SD3) semeadura direta implantada após preparo reduzido; (SD4) semeadura direta implantada após preparo convencional do solo; e (SD5) semeadura direta implantada sob solo descoberto e sem cultivo.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

Nos eventos individuais de chuva observaram-se alguns valores extremos de PA, com mais de 80% em relação ao volume das chuvas (dados não apresentados), devido à combinação de alto volume e elevada intensidade das chuvas. Chuvas com alta intensidade e volume resultam sempre em grande volume de escoamento superficial

A infiltração de água no solo varia com o tipo de solo. Para o Cambissolo Húmico desta pesquisa, Bertol et al. (2015) determinaram o valor de $6,6 \text{ mm h}^{-1}$ de taxa constante, por meio de chuva simulada, independentemente do tipo de manejo do solo, da época dos cultivos e da intensidade e duração da chuva. Wolschick et al. (2018b) também avaliaram a infiltração de água no mesmo tipo de solo, por meio do método dos anéis concêntricos de carga variável. Encontraram o valor 69 mm h^{-1} logo após o preparo do solo e $9,6 \text{ mm h}^{-1}$ seis meses após o preparo. Os mesmos autores confirmaram esses valores pela condutividade hidráulica saturada calculada, na qual, logo após o preparo do solo o valor foi oito vezes maior, em relação aquela medida seis meses após o preparo. Na semeadura direta esta variável foi 50% menor do que no preparo convencional.

Outro fator importante que influencia as PA é a umidade do solo no momento da chuva. Quando o solo se encontra saturado por chuvas anteriores, cerca de 80% da água da chuva pode se perder por escoamento superficial, como se verifica em alguns dados da tabela 14, devido à baixa infiltração de água no solo, independente do manejo do solo. O teor inicial de água no solo, no entanto, não afeta a taxa de infiltração final. Isto ocorre porque o solo, sob condições secas, leva mais tempo para alcançar a saturação, mas, ao alcança-la, a infiltração torna-se semelhante à da condição úmida. Conforme Bertol et al. (2014), as perdas totais de água na forma de enxurrada são menores quanto maior for o tempo de início do escoamento superficial. Em contrapartida, há um aumento linear do teor de água no solo até cessar a chuva, em comparação ao teor de água no início da chuva.

Em eventos de chuva de baixa intensidade e volume e/ou quando o solo está mais seco, com vários dias sem chuva, a capacidade de infiltração e armazenamento do solo atende o volume de água precipitada. Isto pode ser observado na Tabela 14, para os eventos de baixo volume, e independente do manejo. Levando em conta o valor constante da taxa de infiltração apresentada por Bertol et al. (2015), para o solo da presente pesquisa, e considerando a umidade inicial do solo baixa, estes eventos não produziram lâmina superficial de água suficiente para iniciar uma enxurrada.

6.2.5 Perdas de água mensal

Nos primeiros meses após a mudança de manejo do solo, observou-se uma redução nas PA (Tabela 15). Em 2015 as PA foram de 37,6% em relação ao volume de chuvas, tendo se reduzido para 29,5% em 2016 e para 15,8% em 2017, especialmente entre os meses de abril e dezembro de cada ano.

Tabela 15 - Valores mensais de perdas de água observados no período de 2015 a 2018, (média de duas repetições) em Cambissolo Húmico em Lages – SC.

Mês/ano	Tratamentos				
	SD1	SD2	SD3	SD4	SD5
Perdas de água (% da chuva)					
05 2015	1	10	7	24	27
06 2015	29	28	45	53	70
07 2015	23	37	38	47	72
08 2015	1	1	6	8	13
09 2015	10	27	25	41	36
10 2015	17	35	28	57	45
11 2015	0	4	5	19	17
12 2015	5	9	10	22	21
01 2016	8	18	15	31	27
02 2016	3	9	14	33	28
03 2016	7	18	21	56	34
04 2016	3	23	19	48	25
05 2016	8	26	23	39	34
06 2016	1	0	1	9	13
07 2016	36	74	58	54	78
08 2016	4	13	10	16	23
09 2016	4	18	29	18	27
10 2016	9	15	21	18	22
11 2016	0	0	1	2	3
12 2016	6	7	14	44	34
01 2017	18	19	47	59	40
02 2017	0	1	2	14	23
03 2017	0	0	0	0	0
04 2017	2	4	5	5	4
05 2017	6	5	9	15	11
06 2017	13	14	14	26	26
07 2017	0	0	0	0	0
08 2017	1	4	3	8	11
09 2017	1	0	1	1	0
10 2017	1	0	2	6	13
11 2017	8	13	16	37	49
12 2017	3	8	4	26	17
01 2018	3	9	15	30	27
02 2018	0	0	1	0	0
03 2018	0	0	1	3	5
Média	7,3	15,1	16,5	29,9	28,8
D.P.	8,6	15,0	14,7	19,1	19,9
C.V. %	131	117	101	77	80

Nota: (SD1) semeadura direta consolidada, com manejo anterior também sob semeadura direta, constituindo a testemunha; (SD2) semeadura direta implantada após rotação de preparos; (SD3) semeadura direta implantada após preparo reduzido; (SD4) semeadura direta implantada após preparo convencional do solo; e (SD5) semeadura direta implantada sob solo descoberto e sem cultivo.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

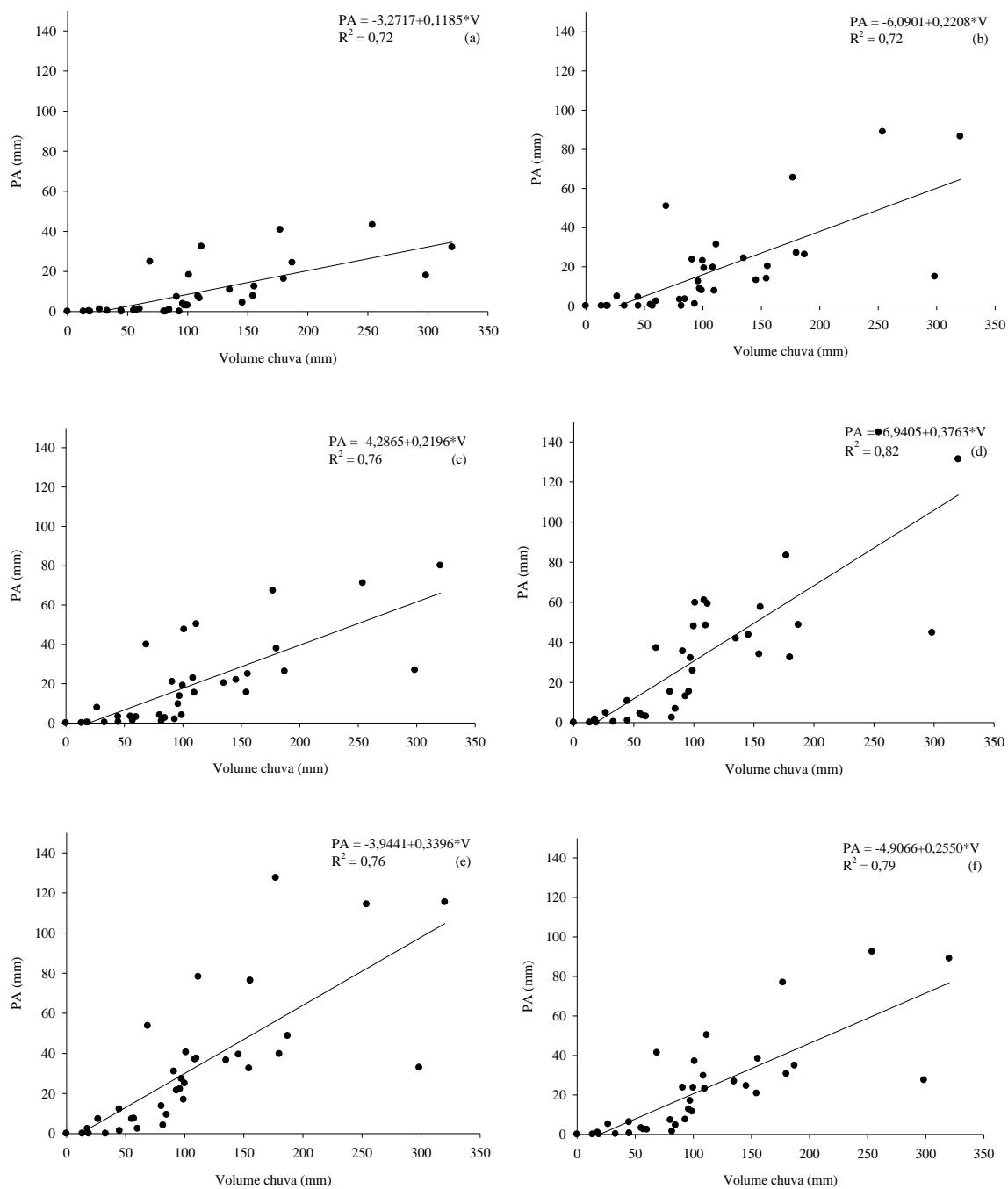
Com a mudança do manejo do solo para a semeadura direta, após três anos de pesquisa, observou-se uma redução de 24% nas PA no tratamento SD5, no qual, historicamente, o solo era manejado no sistema convencional de preparo, sempre com uma aração e duas gradagens duas vezes ao ano e mantido sem cultivo e sem cobertura. No inicio desta pesquisa, este tratamento passou a ser cultivado duas vezes ao ano, com reposição dos níveis de pH e de fertilidade, manejado em semeadura direta com a manutenção da cobertura do solo por resíduos culturais. A melhoria da fertilidade aumentou a produção de biomassa vegetal e, com isso, o teor de carbono orgânico, aumentando a resistência do solo à desagregação, segundo argumentos de Souza et al. (2017) e Bertol et al. (2015).

O tipo de cultura e a quantidade e o tipo de resíduo cultural influenciam em parte a infiltração de água no solo (BERTOL et al., 2015). Este fato, em parte, fez reduzir as PA na forma de escoamento superficial, devido a manutenção da cobertura na superfície que a preservou de selamento superficial e favoreceu a infiltração de água no solo, em todos os tratamentos, conforme Cogo et al. (2003) e Schick et al. (2017). Desse modo, a redução das PA por escoamento superficial que continuou a ocorrer nos tratamentos conservacionistas (SD1, SD2 e SD3) em relação aos demais, após a mudança de manejo, foi devida também ao efeito residual de uso e manejo do solo, e não somente da cobertura residual em si.

No tratamento SD4 houve aumento no escoamento superficial em 20% em relação à média histórica, possivelmente porque, com a conversão do sistema convencional de preparo do solo para a semeadura direta o solo sofreu adensamento superficial devido ao efeito de acomodação do solo que estava pulverizado na camada superficial. Conforme Dalla Rosa et al. (2013), a ocorrência de chuva sobre o solo revolvido e parcialmente descoberto, causa a degradação da estrutura superficial, o que leva a formação de crosta.

Neste tratamento, o antigo manejo convencional rompeu os agregados, dispersando os sedimentos que, sob o efeito do impacto das gotas da chuva foram reorganizados formando uma fina camada encrostada, limitando a infiltração de água no solo.

Figura 12 - Relação entre os valores de altura de chuva (mm) e as perdas de água (mm) por mês nos tratamentos SD1 (a), SD2 (b), SD3 (c), SD4 (d), SD5 (e), e média de todos os tratamentos (f) dos eventos erosivos obtidos entre os anos de 2015 e 2018 em Lages - SC



Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

Nos tratamentos historicamente convencionais (SD4 e SD5), observou-se coeficiente de determinação (R^2) de 0,82 e 0,76, respectivamente (Figura 12 d, e). Nestes tratamentos quanto maior a altura de chuva maior as PA, o que confirmou a influência exercida pelo efeito residual de uso da terra e manejo do solo antes de iniciar a pesquisa (Material & Métodos). Na

média geral da pesquisa, o coeficiente de regressão de 0,79, foi similar ao dos tratamentos SD4 e SD5. Bagio et al. (2017), encontraram um coeficiente de regressão de 0,70 para uma condição de solo descoberto e sem cultivo com um ano de avaliação.

6.2.6 Perdas de água por ciclo de cultivo

O tratamento SD4 apresentou PA semelhante ao tratamento SD5, na média dos ciclos de cultivo (Tabela 16). Os demais tratamentos apresentaram pequena mudança durante o período desta pesquisa. Conforme Bertol et al. (2015), a infiltração de água no solo ao final da chuva varia com o sistema de manejo, com a época do ano, e com a intensidade e duração da chuva. De maneira geral, com a mudança de manejo do solo, durante os três anos de condução desta pesquisa houve uma redução expressiva nas PS (Tabelas 11, 12 e 13), no entanto, as PA (Tabela 16) por escoamento superficial não apresentaram redução na mesma magnitude. Este mesmo comportamento foi observado por Amaral et al. (2008) e Schick et al. (2000).

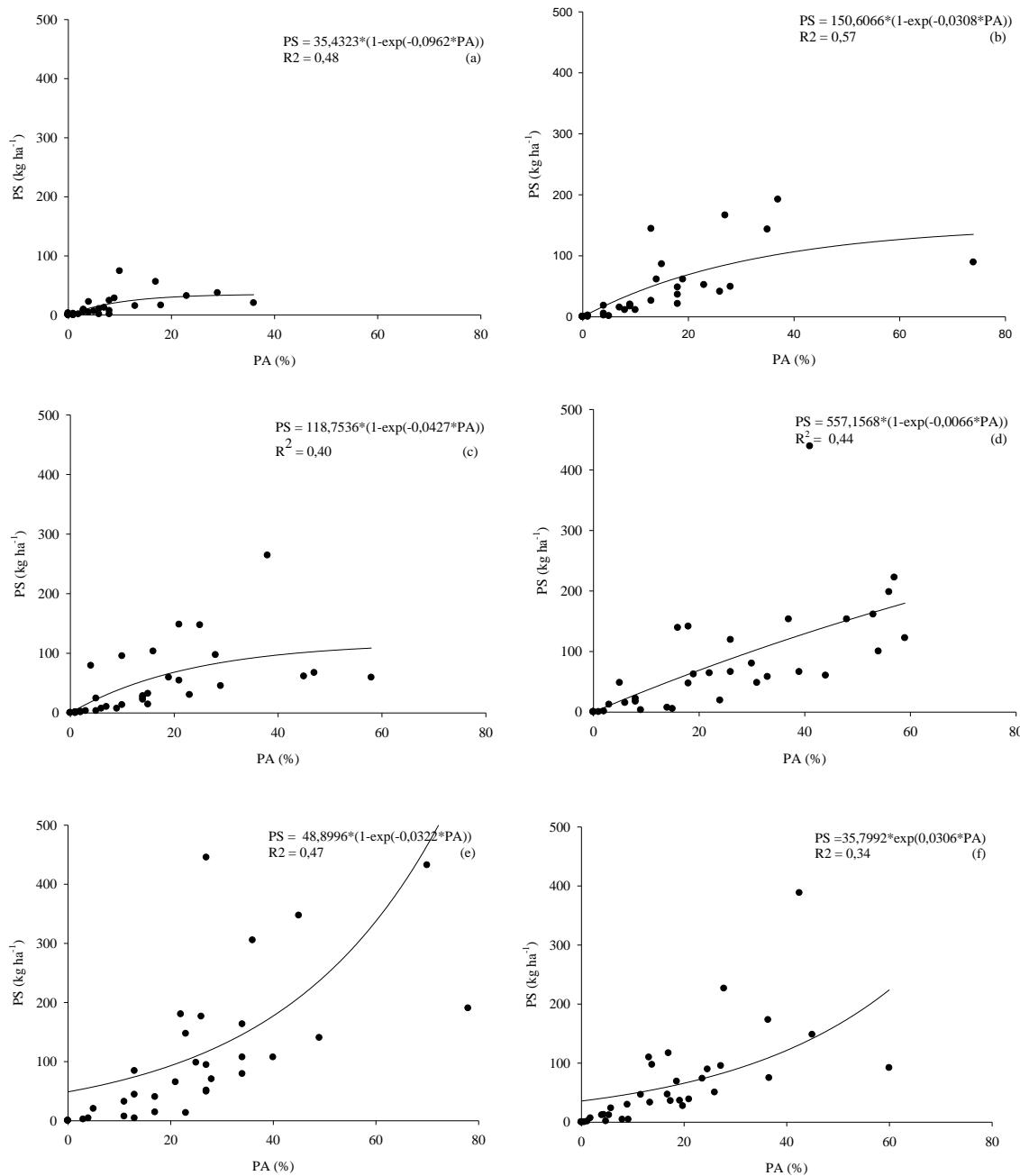
Tabela 16 - Valores de perdas de água por ciclo de cultivo observados no período de 2015 a 2018, (média de duas repetições) em Cambissolo Húmico em Lages – SC.

Ciclo de cultivo	Tratamentos				
	SD1	SD2	SD3	SD4	SD5
----Perdas de água (% da chuva)----					
28 05 2015 a 23 10 2015	14,7	28,7	27,7	45,6	46,2
03 11 2015 a 16 05 2016	4,5	14	14,1	34	25,2
21 05 2016 a 10 11 2016	8,6	20,6	21	22,8	29,6
29 11 2016 a 26 04 2017	6	7,1	15,7	29,1	24,1
20 05 2017 a 06 11 2017	5,7	6,5	7,7	15	18,4
11 11 2017 a 25 03 2018	3,4	7,2	9,1	22	22,9
Média	7,2	14,0	15,9	28,1	27,7
D.P.	4,1	9,1	7,5	10,8	9,7
C.V. %	57	65	47	38	35

Nota: (SD1) semeadura direta consolidada, com manejo anterior também sob semeadura direta, constituindo a testemunha; (SD2) semeadura direta implantada após rotação de preparos; (SD3) semeadura direta implantada após preparo reduzido; (SD4) semeadura direta implantada após preparo convencional do solo; e (SD5) semeadura direta implantada sob solo descoberto e sem cultivo.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

Figura 13 - Relação entre perdas de água (PA) e perdas de solo (PS) nos tratamentos SD1 (a), SD2 (b), SD3 (c), SD4 (d), SD5 (e), e média de todos os tratamentos (f) dos eventos erosivos obtidos entre os anos de 2015 e 2018 em Lages – SC.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

Estes resultados evidenciam a importância do suprimento adequado de cobertura vegetal ao solo pelo cultivo de plantas e/ou manutenção de resíduos, principalmente nos períodos de maior erosividade das chuvas, proporcionando ao solo controle eficaz da erosão hídrica (WISCHMEIER; SMITH, 1978). Houve relação exponencial entre as PS e PA para os tratamentos historicamente conservacionistas, SD1, SD2 e SD3 (Figuras 13 a, b, c), obtendo-

se coeficientes de determinação (R^2) de 0,48, 0,57 e 0,40, respectivamente. Conforme Schick et al. (2000a), a semeadura direta é mais eficaz no controle das PS do que nas PA.

No tratamento historicamente convencional e com cultivo do solo (SD4 - Figura 13 d), a relação entre as PS e PA, resultou no ajuste um modelo exponencial, com coeficiente de determinação de 0,44. Para o tratamento SD5, ajustou-se uma exponencial convexa (Figura 13 e - $R^2 = 0,47$), significando maior taxa de PS por unidade de PA por escoamento superficial, em relação ao que ocorreu com o tratamento SD4, por exemplo. Na média dos tratamentos e do período da pesquisa, a relação de PS e PA (Figura 13 f) mostrou um comportamento semelhante ao que ocorreu com os dados do tratamento SD5, de modo semelhante ao que Schick et al. (2017) observou para a série histórica de 20 anos de dados. Ao observarmos a Tabela 3 (M&M), nota-se uma diferença acentuada na camada de solo perdida por erosão durante os 23 anos de condução do experimento antes do início deste pesquisa. Para o SD4 o qual historicamente conduzido sob PC, a camada perdida foi de 11,88 mm de solo da camada superficial (camada arável), conferindo a esse tratamento uma redução da capacidade de armazenamento de água próximo a 10 mm, quando relacionamos ao SD1 aqui utilizado como testemunha. Já o tratamento SC, o qual corresponde ao tratamento SD5 na presente pesquisa, essa redução no volume de solo foi de 150,15 mm ao longo dos 23 anos de pesquisa, conferindo uma redução na capacidade de armazenamento de água neste tratamento de 148 mm, em relação ao tratamento testemunha SD1.

Este comportamento distinto entre os tratamentos tem relação com a profundidade de perfil do Cambissolo, no qual Bertol e Almeida, (2000) calcularam a tolerância de perdas deste solo em 0,9 mm ao ano, servindo apenas ao critério de manutenção da capacidade produtiva do solo, preservando sua profundidade. Os Cambissolos são solos pouco desenvolvidos, que ainda apresentam características do material originário (rocha) evidenciado pela presença de minerais primários, sendo definidos pela presença de horizonte diagnóstico B incipiente (pouco desenvolvimento estrutural) segundo critérios do SiBCS (Embrapa, 2006).

Notou-se que após três anos de mudança no uso da terra e manejo do solo, o efeito residual persistiu, e exerceu maior influência nas PA do que nas PS. Isto demonstra a importância da condução desse tipo de pesquisa em campo, por longo período de tempo, para se poder perceber as melhorias resultantes da mudança de uso da terra e manejo do solo, de um sistema convencional de manejo do solo para um sistema conservacionista, por exemplo.

6.3 ATRIBUTOS QUÍMICOS DA CAMADA SUPERFICIAL DO SOLO

Os atributos químicos do solo na camada de 0–2,5 cm foram influenciados pelo uso da terra e manejo do solo anteriores e pela aplicação de corretivo e fertilizantes (Tabela 17). Os teores de fósforo (P) aumentaram de 13,7 para 74,9 mg kg⁻¹, na média dos tratamentos, significando um aumento de 5,5 vezes. No inicio do trabalho havia diferença entre os tratamentos SD1 e SD4 e SD5. Assim, na SD1 o teor de P situava-se na classe muito alto (> 24,0 mg dm⁻³), na SD2 o teor alto, na SD3 e SD4 o teor médio, e no SD5 era muito baixo (\leq 4,0 mg dm⁻³) (CQFS RS/SC 2016). Isto reflete o uso da terra e manejo do solo anteriormente, de modo que o tratamento SD5, historicamente mantido sem cultivo e sem cobertura, apresentou teor de P de 3,3 mg dm⁻³. Três anos após ter sido implantada a mudança no uso da terra e manejo do solo, no SD5 o teor de P atingiu o valor de 54,3 mg dm⁻³, não diferindo estatisticamente do tratamento SD1 e, desse modo, todos os tratamentos enquadram-se na classe muito alto para P (> 24,0 mg dm⁻³). Isto é explicado pelo fato de que os tratamentos agora são similares em termos de uso da terra e manejo do solo, especialmente no que diz respeito ao preparo mecânico (inexistente) e à manutenção dos resíduos culturais na superfície. Conforme Andrade et al. (2012), o solo manejado na condição de semeadura direta apresenta maior concentração de nutrientes, especialmente na superfície, do que na condição de outros manejos.

O teor de potássio (K) variou entre as épocas de amostragem, com valores de 274 e 652 mg dm⁻³, respectivamente no início e no final da pesquisa, na média dos tratamentos (Tabela 17). De maneira geral, os teores de K na camada superficial do solo (0-2,5 cm) são considerados muito altos para todos os tratamentos (CQFS RS/SC 2016). É possível perceber que o teor de K no início desta pesquisa, dois meses após a correção e fertilização do solo (julho 2015), foram menores comparados aos do final da pesquisa (Março 2018). Bertol et al. (2004) constaram uma amplitude de 90% nos valores para K, entre cultivos de outono/inverno e de primavera/verão, para a semeadura direta. Esta diferença pode ser atribuída à elevada mobilidade do K no tecido vegetal e no solo. Assim, a maior intensidade de perda de K por erosão pode ocorre durante a fase final do ciclo das culturas, especialmente em épocas que ocorrem elevados volumes de chuva (WERLE et al. 2008) nas quais as perdas de água por escoamento superficial são elevadas, como ocorreu na fase inicial desta pesquisa (Tabela 14) em que se fez a amostragem inicial do solo (julho 2015).

Na amostragem de solo realizada após três anos de pesquisa, os teores de K não apresentaram diferença entre os tratamentos SD1 e SD5 (Tabela 17). Isto se deve

principalmente às adubações efetuadas no solo, sempre em superfície, à ausência de preparo mecânico do solo motivo pelo qual os resíduos culturais permaneceram na superfície e ali depositaram os nutrientes mineralizados, segundo Bertol et al. (2004). No caso dos tratamentos SD4 e SD5 no início da pesquisa, a menor concentração do elemento na superfície do solo ocorreu devido ao preparo do solo que incorporou os adubos e os resíduos, distribuindo-os na camada arada.

Tabela 17 - Atributos químicos na camada de 0 – 2,5 cm do solo no inicio da pesquisa em 2015 e no final em 2018, (média de duas repetições) em Cambissolo Húmico em Lages – SC.

Trat.	P	K -----mg kg ⁻¹ -----	Ca	Mg	Al ³ cmolc dm ⁻³	pH água	pH SMP	H+Al
-Início 2015-								
SD1	24,25 a	269 b	2325 a	1866 a	0,04 a	6,62 a	6,76 a	1,81 a
SD2	21,41 ab	496 a	1852 ab	1608 a	0,01 a	7,19 a	6,78 a	1,80 a
SD3	11,64 bc	290 b	1694 ab	1645 a	0,02 a	6,12 a	6,62 a	2,27 a
SD4	8,03 c	205 bc	1532 b	1475 a	0,02 a	6,63 a	7,07 a	1,29 a
SD5	3,34 c	112 c	1323 b	1454 a	0,00 a	6,73 a	6,75 a	1,86 a
Média	13,73	274	1744	1609	0,17	6,65	6,79	1,8
C.V.%	22	12	11	13	28	7	4	31
-Final 2018-								
SD1	78,1 ab	500 b	4375 a	1261 a	0,02 a	6,56 a	6,69 a	2,14 a
SD2	101,8 a	655 ab	3605 b	828 b	0,00 a	6,50 ab	6,65 a	2,11 a
SD3	65,8 b	762 a	3759 ab	1175 a	0,01 a	6,52 a	6,80 a	1,79 a
SD4	74,3 ab	774 a	2730 c	835 b	0,02 a	5,65 b	6,22 a	3,53 a
SD5	54,3 b	569 ab	2850 c	784 b	0,00 a	6,50 ab	6,50 a	2,5 a
Média	74,87	652	3464	976	0,01	6,35	6,57	2,41
C.V.%	18	15	8	8	126	6	4	8

Nota: (SD1) semeadura direta consolidada, com manejo anterior também sob semeadura direta, constituindo a testemunha; (SD2) semeadura direta implantada após rotação de preparamos; (SD3) semeadura direta implantada após preparo reduzido; (SD4) semeadura direta implantada após preparo convencional do solo; e (SD5) semeadura direta implantada sob solo descoberto e sem cultivo. Médias seguidas pela mesma letra na coluna em cada período não diferem estatisticamente entre si, pelo Teste de Tukey ($p < 0,05$).

Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

O teor de cálcio (Ca) diferiu, enquanto o de Mg, não, entre o início e o final da pesquisa, na camada de 0-2,5 cm (Tabela 17). No início, os tratamentos antes convencionais (SD4 e SD5), apresentaram teor de Ca inferior ao SD1, enquanto, para o Mg, no final da pesquisa, os tratamentos SD1 e SD3 apresentaram valores maiores do que os demais. Bertol et al. (2017) observaram valores de Ca na semeadura direta semelhantes aos dos tratamentos SD4 e SD5. Já no final da pesquisa, estes tratamentos historicamente convencionais, apresentaram diferença significativa, sendo inferiores em relação aos demais tratamentos, cujo histórico é conservacionista. Essa diferença reflete o uso da terra e manejo do solo

destes, antes da presente pesquisa. De maneira geral, ao longo da pesquisa houve redução de 50% nos teores de Ca e Mg, na média dos tratamentos. De maneira geral, em todos os tratamentos os teores de Ca e Mg foram altos ($> 4,0$ e $1,0 \text{ cmol}_c/\text{dm}^3$ para Ca e Mg) conforme interpretação do Manual de Adubação e Calagem (CQFS RS/SC 2016). De maneira geral, os valores de Ca e Mg apresentados nesta pesquisa são superiores do que os apresentados por Bertol et al. (2017), no mesmo solo. O teor de alumínio no solo da camada 0-2,5 cm não mostrou diferença no início da pesquisa, (Tabela 17).

Os valores estão dentro do limite tolerável para a maioria das culturas. Para o pH do solo, os valores no início da pesquisa não diferiram entre os tratamentos, com média de 6,65 e 6,79 para pH água e SMP, respectivamente. Esses valores são resultantes da aplicação de calcário dolomítico com o objetivo de elevar o pH do solo para 6,0. No entanto, no final da pesquisa, o tratamento SD4 diferiu do SD1 e SD3, com um valor de pH em água 5,56. O pH SMP seguiu a mesma tendência do início da pesquisa. O potencial de hidrogênio+alumínio (H+Al) não apresentou diferença significativa entre os tratamentos nas duas épocas avaliadas.

6.4 CONCENTRAÇÃO DE NUTRIENTES SOLÚVEIS NA ÁGUA DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL

A concentração de nutrientes solúveis na água de escoamento superficial é dependente da concentração existente na superfície do solo, da solubilidade do elemento na água e do volume de água escoada. Assim, nas chuvas que geraram maior volume de escoamento a concentração de nutrientes solúveis na água de enxurrada foi menor do que naquelas que geraram menor escoamento (Tabela 18), devido ao efeito de diluição da massa de nutrientes em relação ao volume de enxurrada.

6.4.1 Concentração de fósforo (P) solúvel na água de enxurrada por chuva e por tratamento

A concentração de P na água de escoamento superficial foi maior no SD1 (Tabela 18), na média dos seis cultivos, devido ao fato deste tratamento ter sido historicamente manejado na condição de semeadura direta (SCHICK, 2014), o que permitiu maior acumulação de nutrientes na superfície do solo do que nos demais tratamentos. Na média dos cultivos, a concentração de P na enxurrada foi de $1,5 \text{ mg L}^{-1}$ neste tratamento, enquanto, na média dos demais foi 48% menor, tendo sido de $0,9 \text{ mg L}^{-1}$ no SD2, de $0,8 \text{ mg L}^{-1}$ no SD3 e SD5 e de $0,6 \text{ mg L}^{-1}$ no SD4. O menor valor de concentração de P encontrado nestes últimos

tratamentos deveu-se ao fato de terem sido mantidos, historicamente, na condição de cultivo com algum tipo de preparo de solo, o que, de certo modo, incorporou e misturou os nutrientes na camada de solo mobilizada. No caso do SD5, em especial, o solo foi manejado na condição de parcela padrão da USLE, ou seja, o preparo com arado e grade, duas vezes ao ano, mantido sem cultivo e descoberto, tendo perdido, nesse período, $85 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de solo por erosão (SCHICK, 2014).

De modo geral, a concentração de P na enxurrada encontrada nesta pesquisa, foi maior do que a observada por Fontanive et al. (2018) que pesquisaram doses crescentes de dejetos líquido suíno aplicado em Cambissolo Álico. Neste estudo, o tratamento testemunha não recebeu dejetos e a concentração média de P na enxurrada, em quatro cultivos, foi de $0,51 \text{ mg L}^{-1}$, enquanto, a média para três doses de dejetos ($50, 100$ e $200 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$), foi de $5,0 \text{ mg L}^{-1}$. Estes mesmos autores avaliaram a concentração de P solúvel na água de escoamento subsuperficial, à $0,20 \text{ m}$ da superfície, obtendo valor de $0,23 \text{ mg L}^{-1}$ no tratamento testemunha.

Tabela 18 - Valores de concentrações de P solúvel na água da enxurrada observados no período de 2015 a 2018, (média de duas repetições) em Cambissolo Húmico em Lages – SC.

Item	Tratamentos				
	SD1	SD2	SD3	SD4	SD5
Concentração de P (mg L^{-1})					
Média	1,510	0,886	0,837	0,554	0,817
D.P.	1,405	1,394	0,853	0,705	0,929
C.V. %	93	157	102	127	114

Nota: (SD1) semeadura direta consolidada, com manejo anterior também sob semeadura direta, constituindo a testemunha; (SD2) semeadura direta implantada após rotação de preparamos; (SD3) semeadura direta implantada após preparo reduzido; (SD4) semeadura direta implantada após preparo convencional do solo; e (SD5) semeadura direta implantada sob solo descoberto e sem cultivo.

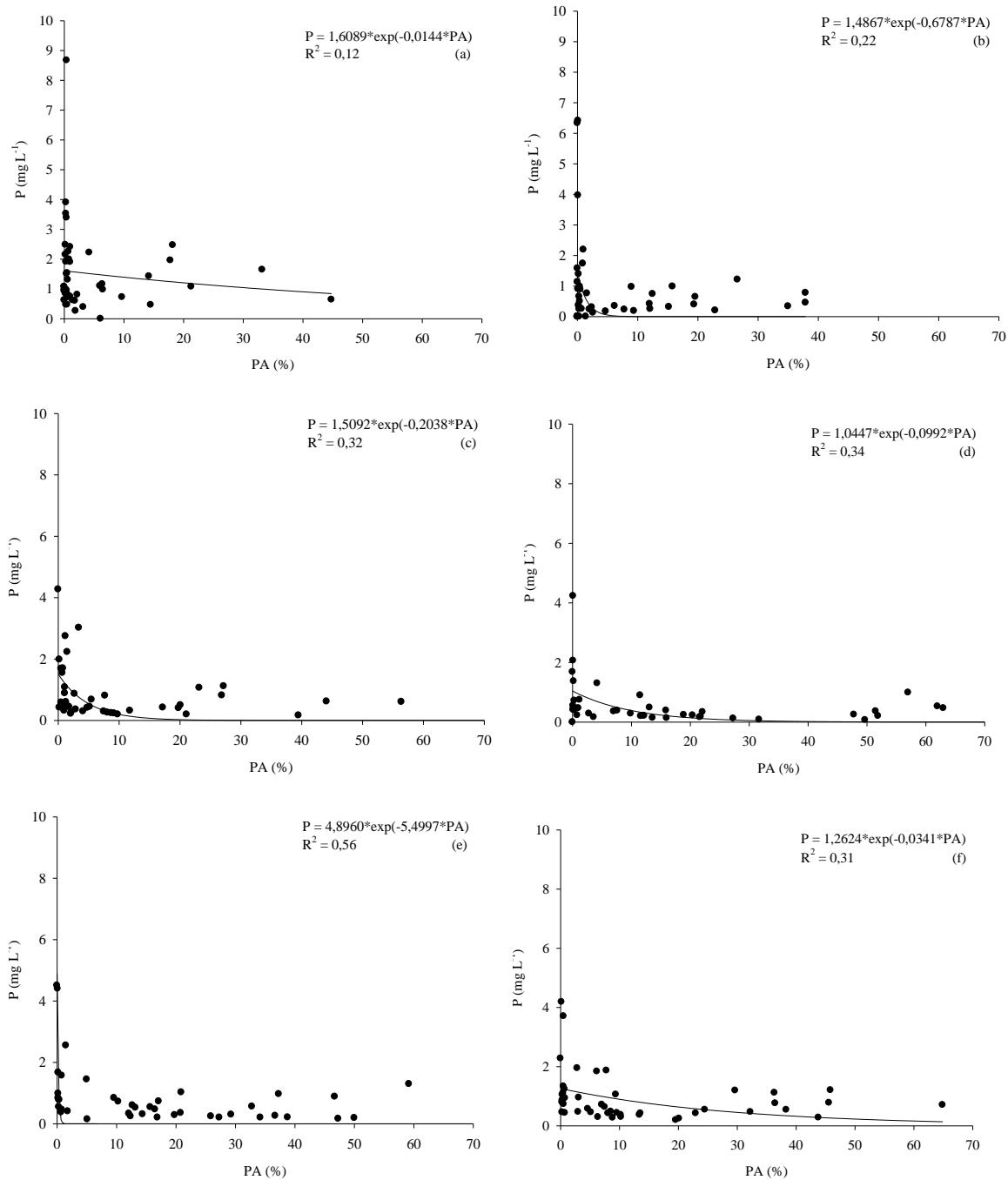
Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

A mobilidade do P no solo é baixa, pois este elemento está fortemente adsorvido pelas partículas do solo e, desta forma, tende a se acumular no local de aplicação, consequentemente, fica sujeito a ser transportado em maior quantidade pelo escoamento superficial (BERTOL et al. 2010). Isto ficou claro no trabalho de Fontanive et al. (2018), com a baixa concentração na água de escoamento da subsuperfície ($0,24 \text{ mg L}^{-1}$), em comparação à alta concentração na água de escoamento superficial ($5,0 \text{ mg L}^{-1}$). Resultados semelhantes foram observados por Oliveira et al. (2015), com maiores concentrações de P disponível no escoamento superficial, devido à constante aplicação de P em superfície.

A concentração de P solúvel na água da enxurrada foi influenciada pelos tratamentos (Figura 14), de modo que a correlação entre o P na água e as PA apresentou coeficiente de determinação (R^2) de 0,56 para o tratamento SD5 (Figura 14 e). Nos demais tratamentos, bem como na média de todos os tratamentos, este coeficiente foi baixo. Essa baixa correlação pode ser explicada pelos valores de concentração de P na camada de 0-2,5 cm (Tabela 17) e de perdas de água por escoamento superficial (Tabela 14). De acordo com esses dados, os tratamentos conservacionistas apresentaram altas concentrações do elemento na enxurrada, mas baixo volume de enxurrada, enquanto, nos tratamentos não conservacionistas esse comportamento foi inverso.

A concentração de P total definida como padrão para água doce de classe I, é de 0,020 mg L⁻¹ em ambiente lêntico, 0,025 mg L⁻¹ em ambiente intermediário e 0,10 mg L⁻¹ em ambiente lótico (CONAMA, 2005). O padrão para água doce de classe III, por outro lado, é 0,05 mg L⁻¹ em ambiente lêntico, 0,075 mg L⁻¹ em ambiente intermediário e de 0,15 mg L⁻¹ em ambiente lótico. Portanto, em todos os eventos que produziram escoamento superficial (Tabela 17), a concentração de P solúvel na água de enxurrada foi superior à permitida pela legislação do CONAMA. Isto significa que essa forma de manejo do solo está tendo alto impacto sobre ambientes lóticos que por ventura se situem no entorno dessas áreas de cultivo. Isto é agravado, ainda, pelo fato da resolução do CONAMA referir-se a P total, enquanto, na presente pesquisa avaliou-se somente a forma de P solúvel na água de escoamento, portanto, obteve-se, certamente, uma concentração inferior à referida na resolução CONAMA, não constando aqui o P nos sedimentos perdidos.

Figura 14 - Relação entre concentração de P na água e a porcentagem de perdas de água (PA) nos tratamentos SD1 (a), SD2 (b), SD3 (c), SD4 (d), SD5 (e), e média de todos os tratamentos (f) dos eventos erosivos obtidos entre os anos de 2015 e 2018 em Lages – SC.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

6.4.2 Concentração de fósforo (P) solúvel na água de enxurrada por ciclo de cultivo

Nos cultivos de primavera/verão (milho), a concentração de P na água de enxurrada foi de $1,13 \text{ mg L}^{-1}$, enquanto nos de outono/inverno (mistura de aveia, ervilhaca e nabo), essa concentração foi de $0,63 \text{ mg L}^{-1}$, na média dos cultivos e dos tratamentos (Tabela 19). Distintas concentrações de P eram esperadas entre os cultivos, pelo fato de que se aplicou fertilizantes somente no cultivo do milho, na primavera/verão, na superfície do solo. Isto favoreceu a solubilidade e o transporte do elemento pela água de enxurrada, aumentando a concentração deste nutriente na água. Entre os tratamentos, as distintas concentrações, por ciclo de cultivo, se devem ao volume de água perdida, reflexo do manejo anterior do solo e da concentração do elemento na camada superficial do solo (Tabela 17). A concentração de nutrientes na água de enxurrada e no solo é dependente do teor de nutrientes contidos nos primeiros milímetros de solo no qual a erosão hídrica exerce influência, desagregando e transportando sedimentos. Os valores foram superiores aos encontrados por Bertol et al. (2007), para a cultura da soja, e por Barbosa et al. (2009), nos cultivos de aveia e ervilhaca.

Tabela 19 - Valores por cultivo de concentrações de P solúvel na água observados no período de 2015 a 2018, (média de duas repetições) em Cambissolo Húmico em Lages – SC.

Período	Tratamentos				
	SD1	SD2	SD3	SD4	SD5
Concentração de P (mg L^{-1})					
28 05 2015 a 23 10 2015	0,31	0,84	0,24	0,10	0,09
03 11 2015 a 16 05 2016	2,48	0,61	0,83	1,57	0,58
21 05 2016 a 10 11 2016	2,12	0,99	1,11	0,12	0,15
29 11 2016 a 26 04 2017	1,78	1,25	0,81	0,65	1,05
20 05 2017 a 06 11 2017	1,00	0,49	0,34	0,26	0,39
11 11 2017 a 25 03 2018	1,60	0,83	1,21	0,70	1,01
Média	1,55	0,84	0,76	0,57	0,55
D.P.	0,79	0,27	0,39	0,56	0,41
C.V. %	51	32	52	98	76

Nota: (SD1) semeadura direta consolidada, com manejo anterior também sob semeadura direta, constituindo a testemunha; (SD2) semeadura direta implantada após rotação de preparos; (SD3) semeadura direta implantada após preparo reduzido; (SD4) semeadura direta implantada após preparo convencional do solo; e (SD5) semeadura direta implantada sob solo descoberto e sem cultivo.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

6.4.3 Concentração de potássio (K) solúvel na água de enxurrada

A concentração de K solúvel na água de escoamento superficial seguiu a tendência de maior concentração nas primeiras chuvas logo após a adubação potássica, coincidindo com a semeadura do milho no mês de novembro de cada ano avaliado (Tabela 20).

Tabela 20 - Valores de concentração de K solúvel na água da enxurrada observados no período de 2015 a 2018, (média de duas repetições) em Cambissolo Húmico em Lages – SC.

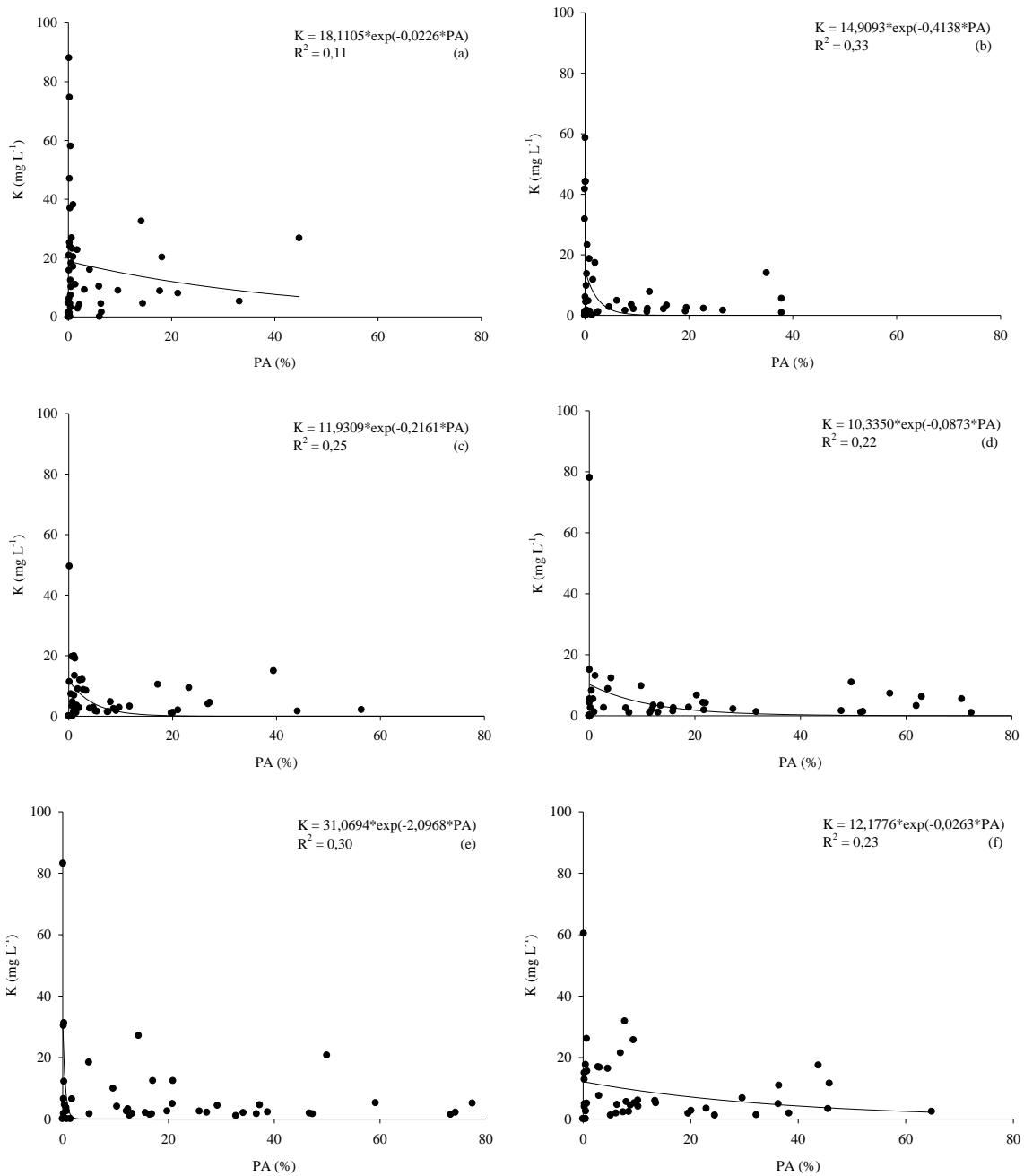
Eventos	Tratamentos				
	SD1	SD2	SD3	SD4	SD5
-----Concentração de K (mg L^{-1})-----					
Média	17,32	8,86	6,51	5,51	8,05
D.P.	19,23	13,97	8,50	11,66	13,92
C.V. %	111	158	130	212	173

Nota: (SD1) semeadura direta consolidada, com manejo anterior também sob semeadura direta, constituindo a testemunha; (SD2) semeadura direta implantada após rotação de preparos; (SD3) semeadura direta implantada após preparo reduzido; (SD4) semeadura direta implantada após preparo convencional do solo; e (SD5) semeadura direta implantada sob solo descoberto e sem cultivo.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

Na Figura 15, podemos observar uma baixa relação entre as concentrações de K na água e as PA, nos eventos individuais para todos os tratamentos e na média dos tratamentos. As maiores concentrações de K solúvel na água de enxurrada foram da ordem de 88 mg L^{-1} para o tratamento SD1, nas primeiras chuvas logo após a adubação. No entanto, os valores dos eventos individuais foram de 17,0; 8,9; 6,5; 5,5 e 8,1 mg L^{-1} , para os tratamentos SD1, SD2, SD3, SD4 e SD5, respectivamente. Assim, observou-se maiores valores para o K solúvel na agua de escoamento superficial do que para o P, de acordo com Bertol et al. (2004). Isso se explica pelo fato de que o K se encontra em maior concentração do que o P no solo, além de ser mais solúvel na água.

Figura 15 - Relação entre concentração de K na água e a porcentagem de perdas de água (PA) nos tratamentos SD1 (a), SD2 (b), SD3 (c), SD4 (d), SD5 (e), e média de todos os tratamentos (f) dos eventos erosivos obtidos entre os anos de 2015 e 2018 em Lages – SC.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

6.4.4 Concentração de potássio (K) solúvel na água de enxurrada por ciclo de cultivo

Os valores médios por ciclo de cultivo, para o K solúvel na água de enxurrada, foram mais elevados do que os valores por evento individual de enxurrada, nos três últimos cultivos, com 38,1; 23,2; 16,3; 15,4 e 14,5 mg L^{-1} , para os tratamentos SD1, SD2, SD3, SD4 e SD5,

respectivamente (Tabela 21). Isso é explicado pela forma de processamento das amostras coletadas; nos três primeiros ciclos de cultivo as amostras foram agrupadas uma às outras para cada ciclo e por tratamento, de modo a se obter uma única amostra por ciclo de cultivo e por tratamento; nos três últimos ciclos, as amostras foram mantidas individuais por evento de chuva (de coleta).

Comparando os tratamentos, o SD1 apresentou concentração de K solúvel na água de enxurrada em torno de 2,5 vezes maior do que na média dos tratamentos SD3, SD4 e SD5, nos quais o valor médio foi de 15 mg L^{-1} , semelhante, portanto, ao observado por Bertol et al. (2017) para a semeadura direta.

Tabela 21 - Valores de concentração de K solúvel na água de enxurrada observados por ciclo de cultivo no período de 2015 a 2018 (média de duas repetições) em Cambissolo Húmico em Lages – SC.

Período	Tratamentos				
	SD1	SD2	SD3	SD4	SD5
Concentrações de K (mg L^{-1})					
28 05 2015 a 23 10 2015	9,65	37,80	18,30	26,25	8,75
03 11 2015 a 16 05 2016	47,70	16,10	14,70	12,20	11,80
21 05 2016 a 10 11 2016	36,85	15,85	13,45	5,65	9,00
29 11 2016 a 26 04 2017	65,23	33,26	24,81	25,33	37,57
20 05 2017 a 06 11 2017	41,54	23,97	18,53	10,64	15,95
11 11 2017 a 25 03 2018	27,68	12,03	7,71	7,14	9,53
Média	38,11	23,17	16,25	14,54	15,43
D.P.	18,76	10,43	5,76	9,03	11,18
C.V. %	49	45	35	62	72

Nota: (SD1) semeadura direta consolidada, com manejo anterior também sob semeadura direta, constituindo a testemunha; (SD2) semeadura direta implantada após rotação de preparos; (SD3) semeadura direta implantada após preparo reduzido; (SD4) semeadura direta implantada após preparo convencional do solo; e (SD5) semeadura direta implantada sob solo descoberto e sem cultivo.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

A concentração de K solúvel na água de escoamento superficial, $38,0 \text{ mg L}^{-1}$ na SD1, foi maior do que aquela encontrada por Bertol et al. (2007) neste mesmo tratamento, $6,0 \text{ mg L}^{-1}$. Já Bertol et al. (2004), avaliando o mesmo tratamento, mas com seis e nove anos de condução, verificaram valores de $8,9$ e $10,3 \text{ mg L}^{-1}$ de K na água de escoamento superficial, respectivamente. Em outro experimento, Fontanive et al. (2018) obtiveram valores de $3,0 \text{ mg L}^{-1}$ no escoamento superficial e de $0,20 \text{ mg L}^{-1}$ no escoamento subsuperficial, na média de quatro cultivos na semeadura direta.

A diferença de valores de concentração de K na água de escoamento superficial, entre as coletas individuais (Tabela 20) e os dados por cultivo (Tabela 21), se deve à diferença de

proporcionalidade das concentrações das duas situações. Assim, dependente da quantidade de água perdida por escoamento, o teor do elemento estará mais ou menos diluído na água, ou seja, em eventos com volume de água perdida, a diluição é maior do que em evento de baixo volume de água. Conforme Werle et al. (2008), a maior intensidade inicial de lixiviação do K no solo, em função do aumento dos teores, pode aumentar as perdas do nutriente no perfil do solo. Os autores chamam a atenção em relação à aplicação deste nutriente, quando realizada de forma antecipada, pois estaria disponível antes da necessidade das culturas anuais, levando à falta de sincronismo entre a disponibilidade de K e a exigência nutricional, elevando as perdas do elemento por meio de erosão em épocas elevados volumes de chuva.

6.4.5 Concentração de cálcio (Ca) solúvel na água de enxurrada

A concentração de Ca solúvel na água de escoamento superficial apresentou valores na faixa de 14,3 a 16,6 mg L⁻¹, com amplitude de até 70 mg L⁻¹ (Tabela 22). A Figura 16 apresenta a relação entre concentração de Ca na água e as PA, nota-se uma relação baixa para todos os tratamentos avaliados individualmente.

Tabela 22 - Valores de concentração de Ca solúvel na água da enxurrada observados no período de 2015 a 2018 (média de duas repetições) em Cambissolo Húmico em Lages – SC.

Eventos	Tratamentos				
	SD1	SD2	SD3	SD4	SD5
-----Concentração de Ca (mg L ⁻¹)-----					
Média	16,60	14,26	14,93	16,53	17,50
D.P.	10,23	11,81	10,44	9,39	12,90
C.V. %	62	83	70	57	74

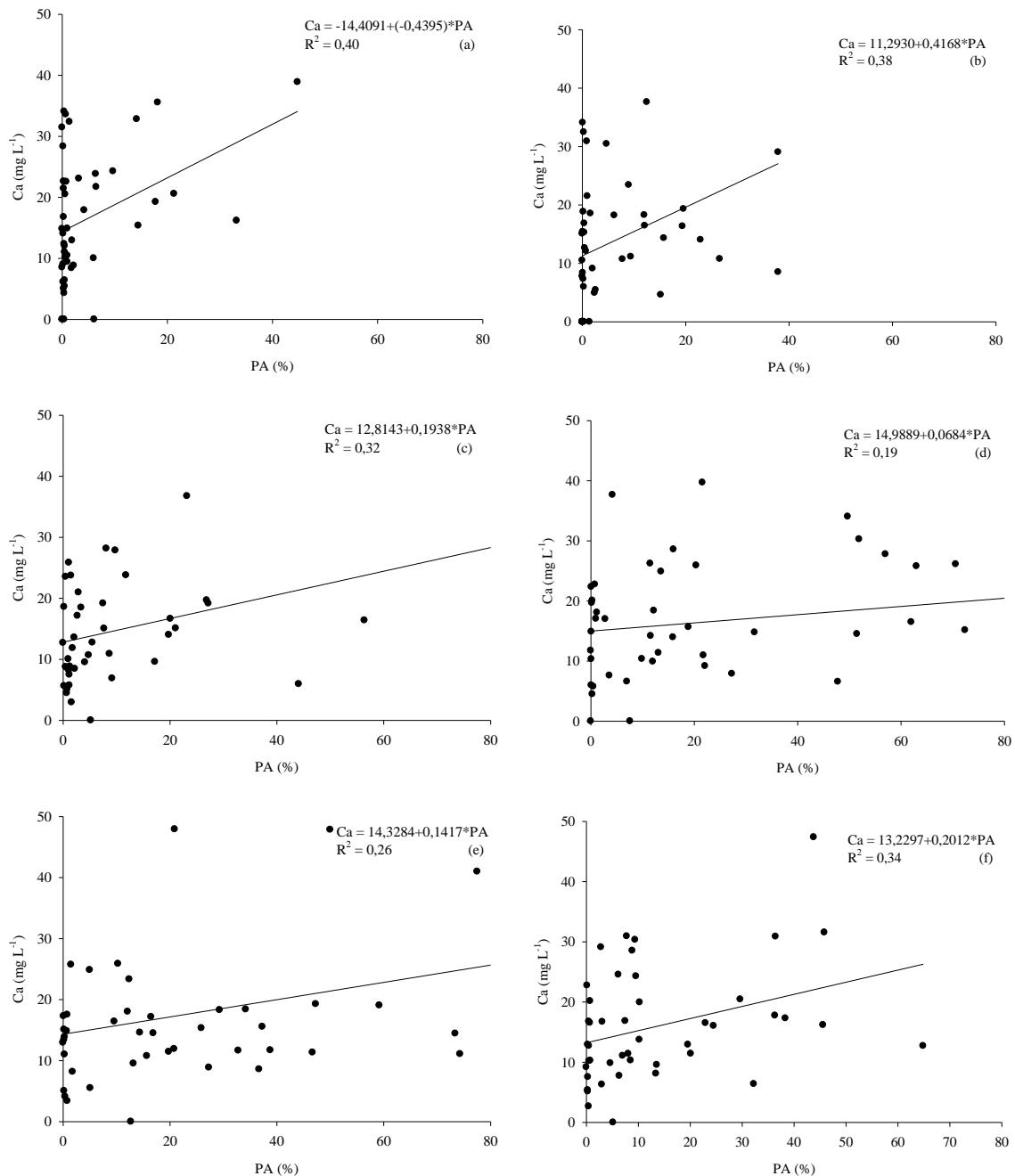
Nota: (SD1) semeadura direta consolidada, com manejo anterior também sob semeadura direta, constituindo a testemunha; (SD2) semeadura direta implantada após rotação de preparos; (SD3) semeadura direta implantada após preparo reduzido; (SD4) semeadura direta implantada após preparo convencional do solo; e (SD5) semeadura direta implantada sob solo descoberto e sem cultivo.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

O calcário dolomítico aplicado (Tabela 5), nas doses de 1,6 a 8,4 t ha⁻¹, explica esses altos valores. O tratamento SD5, em que o solo estava mais degradado, recebeu a maior dose, seguido do tratamento SD1 e SD4. Os tratamentos SD2 e SD3, ambos receberam a dose de 1,8 t ha⁻¹. No caso dos tratamentos SD1 e SD2, o calcário, aplicado em superfície, não foi incorporado ao solo, enquanto, no SD4 e SD5, houve incorporação na camada de 17 cm, com

uma aração e duas gradagens e, no SD3, esta incorporação foi feita com uma escarificação e uma gradagem.

Figura 16 - Relação entre concentração de Ca na água e a porcentagem de perdas de água (PA) nos tratamentos SD1 (a), SD2 (b), SD3 (c), SD4 (d), SD5 (e), e média de todos os tratamentos (f) dos eventos erosivos obtidos entre os anos de 2015 e 2018 em Lages – SC.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

As concentrações de Ca nesta pesquisa foram em torno de três vezes mais altas do que as encontradas por Bertol et al. (2017), para o mesmo experimento. Após o término do

trabalho desses autores, em 2012, houve uma aplicação de calcário dolomítico para elevação do pH e, no início desta pesquisa, em 2015, nova aplicação de calcário dolomítico foi realizada para diminuir a acidez do solo, o que justifica as altas concentrações de Ca na água de escoamento superficial.

6.4.6 Concentração de cálcio (Ca) solúvel na água de enxurrada por ciclo de cultivo

A concentração de Ca solúvel na água de enxurrada foi maior na média por cultivo (Tabela 23) do que na média dos valores por coleta (Tabela 24), para todos os tratamentos. Nota-se que existe um padrão de concentração, para cada tratamento ao longo da pesquisa, com progressiva diminuição dos valores ao longo dos seis cultivos. Isto pode ser decorrente da aplicação de calcário dolomítico em todos os tratamentos para correção da acidez, em 2015, quando da implantação da presente pesquisa, e a medida que o solo ia perdendo Ca, as concentrações foram diminuindo.

Tabela 23 - Valores de concentração de Ca solúvel na água de enxurrada por ciclo de cultivo observados no período de 2015 a 2018 (média de duas repetições) em Cambissolo Húmico em Lages – SC.

Período	Tratamentos				
	SD1	SD2	SD3	SD4	SD5
Concentrações de Ca (mg L^{-1})					
28 05 2015 a 23 10 2015	9,78	25,85	26,43	24,61	16,23
03 11 2015 a 16 05 2016	22,47	26,94	26,83	29,13	27,76
21 05 2016 a 10 11 2016	20,80	20,47	20,01	19,9	17,69
29 11 2016 a 26 04 2017	16,97	14,44	15,07	17,00	21,01
20 05 2017 a 06 11 2017	15,42	14,79	15,97	14,63	15,93
11 11 2017 a 25 03 2018	16,23	13,17	13,36	17,17	15,82
Média	16,95	19,28	19,61	20,41	19,07
D.P.	4,46	6,07	5,86	5,47	4,68
C.V. %	26	31	30	27	25

Nota: (SD1) semeadura direta consolidada, com manejo anterior também sob semeadura direta, constituindo a testemunha; (SD2) semeadura direta implantada após rotação de preparos; (SD3) semeadura direta implantada após preparo reduzido; (SD4) semeadura direta implantada após preparo convencional do solo; e (SD5) semeadura direta implantada sob solo descoberto e sem cultivo.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

6.4.7 Concentração de magnésio (Mg) solúvel na água de enxurrada por chuva e por tratamento

A concentração de Mg na água de enxurrada seguiu a mesma tendência da concentração de Ca, com uma amplitude de até $9,16 \text{ mg L}^{-1}$ (Tabela 24).

No entanto, os valores de Mg foram menores do que os de Ca. Bertol et al. (2011), em pesquisa sob chuva simulada, com diferentes intensidades, observaram valores semelhantes aos da presente pesquisa para o tratamento com adubação mineral. De maneira geral, as concentrações de Ca solúvel na água de escoamento (Tabela 22) foram maiores em relação ao Mg solúvel, na magnitude de 5,7 vezes para a média dos eventos individuais, apesar dos teores de Mg na camada superficial serem semelhantes. No trabalho de Bertol et al. (2017), no entanto, esta diferença foi em torno de 1,7 vezes, pelo fato de ainda não ter sido reaplicado calcário.

A relação entre a concentração de Mg na água e a PA apresentou correlação fraca (Figura 20), com um coeficiente de determinação abaixo de 31 para todos os tratamentos avaliados. Mesmo comportamento observado para o Ca, no qual a concentração tem baixa relação com a porcentagem de PA. Na Figura 17 f, observa-se a média dos tratamentos com uma relação exponencial fraca ($R^2 = 0,21$).

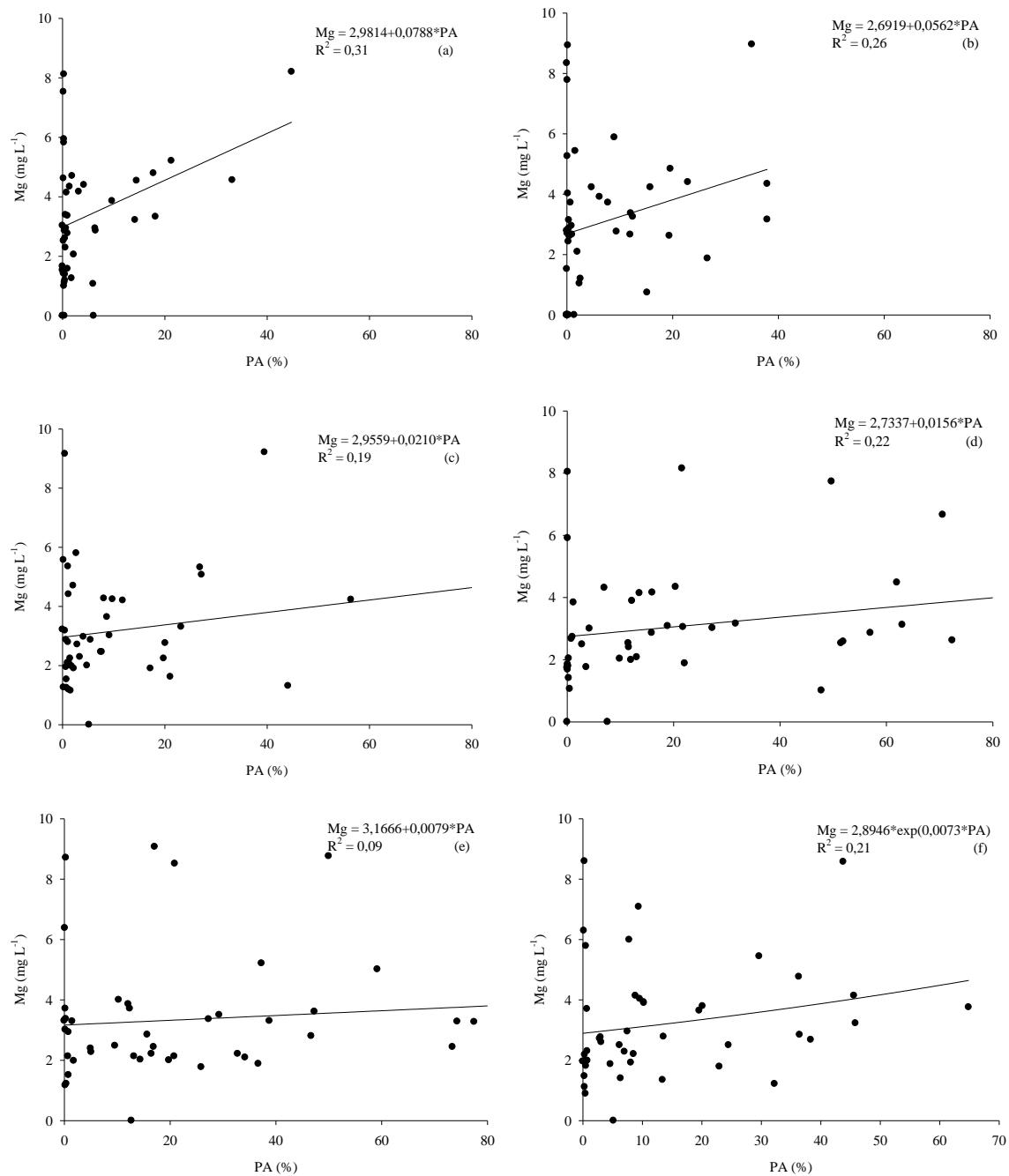
Tabela 24 - Valores de concentração de Mg solúvel na água de enxurrada observados no período de 2015 a 2018 (média de duas repetições) em Cambissolo Húmico em Lages – SC.

Período	Tratamentos				
	SD1	SD2	SD3	SD4	SD5
Concentração de Mg (mg L^{-1})					
Média	3,37	3,09	3,19	3,10	3,34
D.P.	2,39	2,35	1,88	1,84	2,03
C.V. %	71	76	59	59	61

Nota: (SD1) semeadura direta consolidada, com manejo anterior também sob semeadura direta, constituindo a testemunha; (SD2) semeadura direta implantada após rotação de preparos; (SD3) semeadura direta implantada após preparo reduzido; (SD4) semeadura direta implantada após preparo convencional do solo; e (SD5) semeadura direta implantada sob solo descoberto e sem cultivo.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

Figura 17 - Relação entre concentração de Mg na água e a porcentagem de perdas de água (PA) nos tratamentos SD1 (a), SD2 (b), SD3 (c), SD4 (d), SD5 (e), e média de todos os tratamentos (f) dos eventos erosivos obtidos entre os anos de 2015 e 2018 em Lages – SC.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

6.4.8 Concentração de magnésio (Mg) solúvel na água de enxurrada por ciclo de cultivo

As médias dos seis cultivos, para Mg na enxurrada por ciclo de cultivo, estiveram na faixa de 4,4 a 5,1 mg L^{-1} , em valores semelhantes entre os tratamentos (Tabela 25). No

entanto, ocorreu tendência de diminuição dos valores ao longo da pesquisa, como observado para o Ca. Justifica-se isto pela aplicação de calcário dolomítico no início da pesquisa, o qual fez com que as concentrações de Mg na água do escoamento superficial fossem mais elevadas nos três primeiros cultivos, pelo fato do calcário estar disponível para solubilização na água durante aqueles eventos de chuva, mais do que os demais.

De maneira geral as concentrações de Ca solúvel na água de escoamento (Tabela 24) foram maiores em relação a concentração de Mg solúvel, na magnitude de 5,7 vezes para a média geral dos seis cultivos, enquanto, no trabalho de Bertol et al. (2017) esta diferença foi em torno de 1,7 vezes, e, no de Bertol et al. (2011), de 1,6 vezes. No trabalho de Bertol et al. (2017), as concentrações de Mg na enxurrada foram levemente menores do que as desta pesquisa. Ao descrevemos os cultivos durante três anos, ocorreu uma diminuição nas concentrações de Mg na enxurrada nos dois últimos cultivos, com média de 2,6 mg L⁻¹.

Estes resultados mostram, no que diz respeito às concentrações dos nutrientes (P, Na, K, Ca e Mg) na água do escoamento superficial, que os valores foram altos para todos os nutrientes e todos os tratamentos (SD1, SD2, SD3, SD4, e SD5), indicando assim a necessidade de conter a enxurrada na lavoura, mesmo sob o semeadura direta.

Tabela 25 - Valores de concentração de Mg solúvel na água de enxurrada por ciclo de cultivo observados no período de 2015 a 2018 (média de duas repetições) em Cambissolo Húmico em Lages – SC.

Período	Tratamentos				
	SD1	SD2	SD3	SD4	SD5
-----Concentrações de Mg (mg L ⁻¹)-----					
28 05 2015 a 23 10 2015	2,67	7,23	7,13	6,80	4,52
03 11 2015 a 16 05 2016	6,90	6,93	7,16	7,26	6,90
21 05 2016 a 10 11 2016	6,67	6,11	6,37	5,81	4,88
29 11 2016 a 26 04 2017	4,66	4,41	4,54	4,28	4,98
20 05 2017 a 06 11 2017	3,16	3,04	2,96	3,04	2,96
11 11 2017 a 25 03 2018	2,47	2,01	2,26	2,14	2,32
Média	4,42	4,96	5,07	4,89	4,43
D.P.	1,99	2,15	2,14	2,07	1,63
C.V. %	45	43	42	42	37

Nota: (SD1) semeadura direta consolidada, com manejo anterior também sob semeadura direta, constituindo a testemunha; (SD2) semeadura direta implantada após rotação de preparamos; (SD3) semeadura direta implantada após preparo reduzido; (SD4) semeadura direta implantada após preparo convencional do solo; e (SD5) semeadura direta implantada sob solo descoberto e sem cultivo.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

6.5 CONCENTRAÇÃO DE NUTRIENTES NOS SEDIMENTOS PERDIDOS POR EROSÃO HÍDRICA PLUVIAL

6.5.1 Concentração de P nos sedimentos erodidos por ciclo de cultivo

A concentração de P nos sedimentos variou entre 27,1 e 70,4 mg dm⁻³, nos tratamentos SD1 e SD5, respectivamente, nos seis cultivos (Tabela 26), com diferença de 2,6 vezes entre os valores extremos. Na média dos cultivos, as maiores concentrações foram observadas nos tratamentos SD1 e SD2, com 47,6 e 46,3 mg dm⁻³, respectivamente, semelhantes aos 43,0 mg dm⁻³ observadas por Bertol et al. (2007) no cultivo de soja em semeadura direta. No terceiro cultivo ocorreu a menor concentração, na média dos tratamentos para os seis cultivos, enquanto, no cultivo seguinte (quarto) houve a maior concentração de P nos sedimentos, 36,3 e 57,2 mg dm⁻³, respectivamente. Isso pode ter relação com as PS (Tabela 13) e com a erosividade e número de chuvas erosivas (Tabela 9), maiores no quarto ciclo. A diferença na concentração de P entre os referidos ciclos reflete a aplicação de P na superfície do solo por ocasião da implantação da cultura do milho, estando disponível para o arraste pela enxurrada. Na Figura 21 se observa a relação linear entre os valores de concentração de P nos sedimentos e no solo, na media de cada tratamento, com um coeficiente R² = 0,90.

Ao comparar os cultivos de outono/inverno com os de primavera/verão (Tabela 26), nestes últimos, com aplicação de fertilizante para atender a demanda da cultura do milho, as concentrações de P nos sedimentos perdidos foram maiores em relação aos cultivos aveia+ervilhaca+nabo no outono/inverno. Isto se justifica pelo fato de ter sido aplicado superfosfato triplo em superfície do solo no milho, resultando em acúmulo e/ou concentração deste nutriente na superfície do solo. Este mesmo comportamento do P perdido nos sedimentos foi observado no trabalho de Barbosa et al. (2009), em condição de chuva simulada.

No trabalho de Schick et al. (2000), as concentrações de P nos sedimentos apresentaram-se superiores aos da presente pesquisa para a semeadura direta, com valor médio de 105 mg dm⁻³, média de 11 cultivos. Valores de concentrações semelhantes a estas foram encontradas por Bertol et al. (2004), para o mesmo tipo de solo sob tratamentos conduzidos por seis e nove anos sob semeadura direta. Conforme os mesmos autores, estes valores podem ser explicados por seus maiores teores na camada superficial do solo, bem como, pela mineralização decorrente da decomposição dos resíduos culturais dispostos na superfície, com liberação de forma regular para o solo (BERTOL et al. 2004).

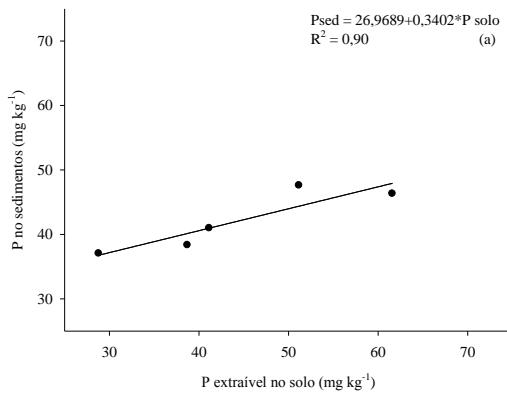
Tabela 26 - Valores de concentração de P nos sedimentos perdidos observados por ciclo de cultivo no período de 2015 a 2018 (média de duas repetições) em Cambissolo Húmico em Lages – SC.

Período	Tratamentos				
	SD1	SD2	SD3	SD4	SD5
	Concentração de P (mg kg^{-1})				
28 05 2015 a 23 10 2015	46,4	36,6	36,1	29,3	37,4
03 11 2015 a 16 05 2016	51,1	36,3	35,2	53,8	35,0
21 05 2016 a 10 11 2016	32,7	55,3	31,4	35,0	27,1
29 11 2016 a 26 04 2017	70,4	75,6	48,5	46,2	45,2
20 05 2017 a 06 11 2017	49,7	31,1	38,1	40,5	35,3
11 11 2017 a 25 03 2018	35,2	42,9	40,7	40,9	42,2
Média	47,6	46,3	38,3	41,0	37,0
D.P.	13,5	16,6	5,9	8,5	6,3
C.V. %	28	35	15	21	17

Nota: (SD1) semeadura direta consolidada, com manejo anterior também sob semeadura direta, constituindo a testemunha; (SD2) semeadura direta implantada após rotação de preparos; (SD3) semeadura direta implantada após preparo reduzido; (SD4) semeadura direta implantada após preparo convencional do solo; e (SD5) semeadura direta implantada sob solo descoberto e sem cultivo.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

Figura 18 - Relação média entre concentrações de P extraível no solo (0-2,5 cm) e sedimentos (pontos são os tratamentos SD1, SD2, SD3, SD4 e SD5, respectivamente) no período de 2015 a 2018 (média de duas repetições) em Cambissolo Húmico em Lages – SC.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

Bertol et al. (2004) destacam, ainda, que nos sistemas conservacionistas os sedimentos são coloidais em sua maioria e, portanto, com maior capacidade de adsorção de elementos químicos, quando comparados aos sistemas convencionais.

É possível prever a concentração de P nos sedimentos da enxurrada conhecendo-se a sua concentração na camada superficial do solo, utilizando a equação resultante da correlação apresentada na Figura 18. A variação de P no sedimento explica 90% da concentração de P no

solo, podendo ser essa equação utilizada para prever a concentração de P nos sedimentos da enxurrada conhecendo-se a concentração no solo.

6.5.2 Concentração de K nos sedimentos erodidos por ciclo de cultivo

As concentrações de K nos sedimentos foram de 702, 728, 695, 704 e 686 mg dm⁻³ para os tratamentos de SD1, SD2, SD3, SD4, e SD5, respectivamente, na média dos seis cultivos (Tabela 27). Para os cultivos individuais, nota-se uma amplitude de valores, entre 310 mg dm⁻³ para o SD2 no quinto cultivo e 1.229 mg dm⁻³ para o SD5 no quarto cultivo. No geral, as concentrações de K nos sedimentos erodidos foram maiores nos cultivos de primavera/verão, com média de 950 mg dm⁻³, sendo duas vezes maiores do que nos de outono/inverno. Estes resultados se justificam pelo fato dos cultivos de primavera/verão coincidirem com a aplicação superficial de cloreto de potássio para atender as exigências da cultura do milho em relação a este nutriente.

Bertol et al. (2017), não obtiveram diferença de concentração de K nos sedimentos de erosão entre os cultivos, na semeadura direta por 15 anos, neste mesmo experimento. Os autores ressaltaram que houve variações devido aos efeitos combinados do clima e dos ciclos de cultivo, bem como das práticas de manejo do solo para a mesma cultura. Concluíram, ainda, que o caráter conservacionista da semeadura direta foi parcialmente comprometido, uma vez que esse sistema de manejo do solo não foi tão eficaz no controle das perdas de água e nutrientes, quanto foi eficiente no controle das perdas de solo, (SCHICK et al. 2000; BERTOL et al. 2017).

Consideram-se altos os valores de concentrações de K nos sedimentos, principalmente nos cultivos de primavera/verão. Bertol et al. (2004) obtiveram valores, em quatro cultivos, semelhantes aos dos cultivos de outono/inverno da presente pesquisa. Schick et al. (2000), apresentaram valores semelhantes a média dos seis cultivos da presente pesquisa (Tabela 27). Conforme os mesmos autores, os sedimentos orgânicos e minerais disponíveis para o transporte, na sua maioria coloidais, apresentam alta afinidade por potássio, razão pela qual, observa-se uma concentração desse elemento nos sedimentos oriundos de áreas manejadas sob semeadura direta (SCHICK et al. 2000). Isso pode ser observado na Figura 19, na relação linear entre K extraível no solo e nos sedimentos erodidos, na qual a concentração de nutrientes na camada superficial explica 72% da concentração de K nos sedimentos erodidos.

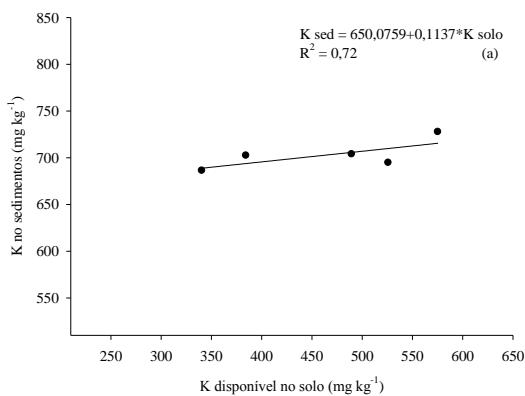
Tabela 27 - Valores de concentração de K nos sedimentos perdidos por ciclo de cultivo observados no período de 2015 a 2018 (média de duas repetições) em Cambissolo Húmico em Lages – SC.

Período	Tratamentos				
	SD1	SD2	SD3	SD4	SD5
					Concentração de K (mg kg^{-1})
28 05 2015 a 23 10 2015	442,2	525,8	446,6	391,6	407,0
03 11 2015 a 16 05 2016	1115,4	946	917,4	1117,6	646,8
21 05 2016 a 10 11 2016	468,6	611,6	413,6	398,2	431,2
29 11 2016 a 26 04 2017	842,6	1034	1053,8	961,4	1229,8
20 05 2017 a 06 11 2017	541,2	310,2	444,4	479,6	508,2
11 11 2017 a 25 03 2018	803,0	937,2	891,0	873,4	893,2
Média	702,2	727,5	694,5	703,6	686,0
D.P.	264,1	287,7	289,9	318,6	320,8
C.V. %	38	40	42	45	47

Nota: (SD1) semeadura direta consolidada, com manejo anterior também sob semeadura direta, constituindo a testemunha; (SD2) semeadura direta implantada após rotação de preparos; (SD3) semeadura direta implantada após preparo reduzido; (SD4) semeadura direta implantada após preparo convencional do solo; e (SD5) semeadura direta implantada sob solo descoberto e sem cultivo.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

Figura 19 - Relação média entre concentrações de K disponível no solo (0-2,5 cm) e sedimentos no período de 2015 a 2018 (média de duas repetições) em Cambissolo Húmico em Lages – SC.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

6.5.3 Concentração de Ca nos sedimentos erodidos por ciclo de cultivo

As concentrações de Ca nos sedimentos variam de $3.455 \text{ a } 4.008 \text{ mg dm}^{-3}$, na média dos cultivos, com uma diferença de 14% (Tabela 28). No geral, entre os tratamentos, os valores situaram-se entre 2.781 mg dm^{-3} no segundo cultivo para o tratamento SD5 e 4.459 mg dm^{-3} no tratamento SD4 para o quarto cultivo, com pequena diferença entre os cultivos. O mesmo comportamento foi observado por Bertol et al. (2017), durante 15 anos de pesquisa, os quais encontraram maiores perdas de Ca (27%) na semeadura direta do que no preparo

convencional. Justificaram isso pela ausência de preparo do solo na semeadura direta, acumulando os nutrientes na superfície e, deste acúmulo, resultou que a perda total por erosão foi 40% maior na semeadura direta. Isso confirma que, com efeito, este sistema de manejo não é totalmente conservacionista, pois, os sedimentos resultantes da erosão da semeadura direta são mais ricos do que os do preparo convencional, em espécies químicas.

Ao comparar as concentrações de Ca nos sedimentos da presente pesquisa com as de outros trabalhos, verifica-se serem maiores neste trabalho do que nos de Bertol et al. (2017) e Schick et al. (2000b), por exemplo. Isto pode ser decorrente da aplicação de calcário dolomítico em todos os tratamentos para correção da acidez, em 2015, quando da implantação da presente pesquisa. Mesmo comportamento foi observado por Bertol et al. (2005), argumentando que solo sob preparo convencional aumenta a taxa de decomposição de resíduos vegetais, baixando os teores de matéria orgânica e de capacidade de troca catiônica do solo, justificando um maior transporte de Ca e Mg nos sedimentos na semeadura direta em relação ao preparo convencional.

Na Figura 20 podemos observar a relação entre a concentração de Ca disponível no solo e nos sedimentos erodidos, nota-se que a camada superficial do solo explicou 68% da concentração de Ca nos sedimentos erodidos.

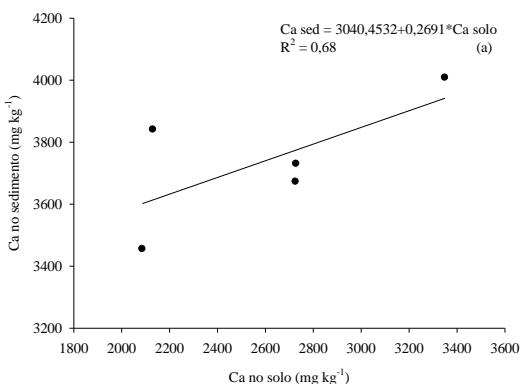
Tabela 28 - Valores de concentração de Ca nos sedimentos perdidos por ciclo de cultivo observados no período de 2015 a 2018 (média de duas repetições) em Cambissolo Húmico em Lages – SC.

Período	Tratamentos				
	SD1	SD2	SD3	SD4	SD5
Concentração de Ca (mg kg^{-1})					
28 05 2015 a 23 10 2015	4506	3595	4043	3714	3847
03 11 2015 a 16 05 2016	3666	3923	3344	3542	2782
21 05 2016 a 10 11 2016	4428	3736	4001	4422	3023
29 11 2016 a 26 04 2017	3728	3844	3650	4459	3515
20 05 2017 a 06 11 2017	4064	3268	3986	3720	3757
11 11 2017 a 25 03 2018	3655	4016	3010	3186	3808
Média	4008	3730	3672	3841	3455
D.P.	387	270	422	504	450
C.V. %	10	7	11	13	13

Nota: (SD1) semeadura direta consolidada, com manejo anterior também sob semeadura direta, constituindo a testemunha; (SD2) semeadura direta implantada após rotação de preparamos; (SD3) semeadura direta implantada após preparo reduzido; (SD4) semeadura direta implantada após preparo convencional do solo; e (SD5) semeadura direta implantada sob solo descoberto e sem cultivo.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

Figura 20 - Relação média entre concentrações de Ca no solo (0-2,5 cm) e sedimentos no período de 2015 a 2018 (média de duas repetições) em Cambissolo Húmico em Lages – SC.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

6.5.4 Concentração de Mg nos sedimentos perdidos por ciclo de cultivo e por tratamento

As concentrações de Mg seguiram a mesma tendência das de Ca, com algumas variações entre os tratamentos. Na SD2 e SD5 ocorreram as menores concentrações, 774 mg dm⁻³, enquanto nos tratamentos SD4, SD3 e SD1, as concentrações foram de 850, 859 e 877 mg dm⁻³, respectivamente (Tabela 29). Na SD1 a concentração foi 12% superior aos tratamentos SD2 e SD5. Os valores entre os cultivos foi de 652 mg dm⁻³ para o tratamento SD1 no sexto cultivo e de 1022 mg dm⁻³ para o tratamento SD3 no primeiro cultivo. Essa redução na concentração de Mg do primeiro cultivo para o último, pode ter relação com a aplicação de calcário no início do primeiro cultivo para correção da acidez do solo. Isso pode ser observado na Figura 21 que relaciona as concentrações de Mg nos sedimentos e no solo, onde, o teor de Mg na camada superficial do solo explicou 73% da concentração do nutriente nos sedimentos erodidos.

Reportando o trabalho de Bertol et al. (2005), estes autores também observaram altas concentrações de Mg na enxurrada da semeadura direta, em relação ao preparo convencional. Schick et al. (2000b) apresentaram concentrações de Mg na enxurrada muito inferiores a da presente pesquisa, e Bertol et al. (2017) obtiveram concentrações 50% menores, para a semeadura direta no mesmo solo.

Quando comparamos os coeficientes de determinação entre o solo e os sedimentos do P com os demais nutrientes, se nota uma maior relação neste. Já nos demais nutrientes (K, Ca e Mg) existe um menor R^2 , portanto existem outros fatores que influenciaram as concentrações na camada superficial do solo e nos sedimentos. Recomenda-se, portanto, que

tais relações sejam refeitas sobre dados coletados durante um período maior de pesquisa o que implicaria em maior estabilidade nos resultados.

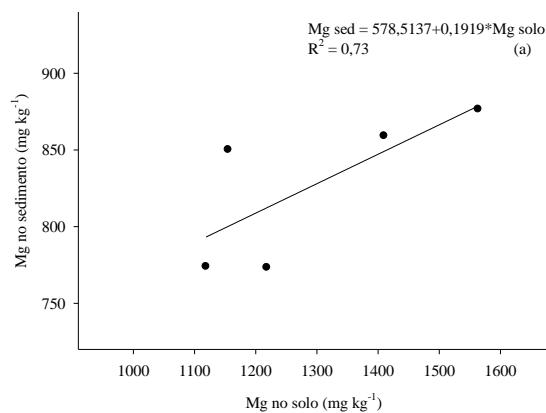
Tabela 29 - Valores de concentração de Mg nos sedimentos perdidos por ciclo de cultivo observados no período de 2015 a 2018 (média de duas repetições) em Cambissolo Húmico em Lages – SC.

Período	Tratamentos				
	SD1	SD2	SD3	SD4	SD5
Concentração de Mg (mg kg^{-1})					
28 05 2015 a 23 10 2015	947	695	1022	860	803
03 11 2015 a 16 05 2016	1015	857	904	943	778
21 05 2016 a 10 11 2016	900	850	871	828	731
29 11 2016 a 26 04 2017	832	767	785	922	778
20 05 2017 a 06 11 2017	914	731	878	853	871
11 11 2017 a 25 03 2018	652	742	695	695	684
Média	877	773	859	850	774
D.P.	126	66	111	88	64
C.V. %	14	9	13	10	8

Nota: (SD1) semeadura direta consolidada, com manejo anterior também sob semeadura direta, constituindo a testemunha; (SD2) semeadura direta implantada após rotação de preparamos; (SD3) semeadura direta implantada após preparo reduzido; (SD4) semeadura direta implantada após preparo convencional do solo; e (SD5) semeadura direta implantada sob solo descoberto e sem cultivo.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

Figura 21 - Relação média entre concentrações de Mg no solo (0-2,5 cm) e sedimentos no período de 2015 a 2018 (média de duas repetições) em Cambissolo Húmico em Lages – SC.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

6.5.5 Taxa de enriquecimento em P, K, Ca e Mg

No primeiro ciclo de cultivo do milho, houve enriquecimento de nutrientes para quase todos os elementos estudados, exceto para o Mg (Tabela 30). O P foi o elemento com maior valor de taxa de enriquecimento no primeiro cultivo para o tratamento SD5, seguido pelo tratamento SD4, com 10,4 e 6,7, sendo 4,6 e 3,0 vezes maior em relação à média dos sistemas conservacionistas, respectivamente. Esse resultado se deve aos baixos teores de P no solo (Tabela 17) e altos teores nos sedimentos (Tabela 26), significando que níveis mais altos de P na camada superficial do solo tendem a elevar os níveis desse elemento nos sedimentos, conforme Schick et al. (2000b), Bertol et al. (2007) e Barbosa et al. (2009). No último cultivo, não se observou enriquecimento para este nutriente. Aplicações sucessivas de P na superfície do solo promovem um acúmulo deste nutriente na camada superficial, quando manejado sob semeadura direta, pela fraca mobilidade do P no solo, como foi mostrado na Figura 18.

No caso do K, houve enriquecimento nos dois cultivos avaliados, para todos os tratamentos, com maior magnitude no primeiro cultivo, com taxa média de 3,66. Já para o último cultivo, este valor (1,33) foi semelhante ao apresentado por Bertol et al. (2017) no período de primavera/verão.

Tabela 30 - Taxa de enriquecimento de P extraível, K, Ca e Mg trocáveis nos sedimentos, no primeiro e último cultivo de primavera/verão (média de duas repetições) em Cambissolo Húmico em Lages – SC.

Tratamentos	Primeiro cultivo de primavera/verão				Último cultivo de primavera/verão			
	P	K	Ca	Mg	P	K	Ca	Mg
SD1	2,11	4,14	1,58	0,54	0,45	1,61	0,84	0,52
SD2	1,70	1,91	2,12	0,53	0,42	1,43	1,11	0,90
SD3	3,02	3,16	1,97	0,55	0,62	1,17	0,80	0,59
SD4	6,70	5,44	2,31	0,64	0,55	1,13	1,17	0,83
SD5	10,48	5,75	2,10	0,53	0,78	1,57	1,34	0,87
Média	3,38	3,66	2,00	0,57	0,51	1,33	0,98	0,71
D.P.	3,74	1,60	0,27	0,05	0,14	0,22	0,23	0,17
C.V.%	111	44	14	8	28	17	23	26

Nota: (SD1) semeadura direta consolidada, com manejo anterior também sob semeadura direta, constituindo a testemunha; (SD2) semeadura direta implantada após rotação de preparos; (SD3) semeadura direta implantada após preparo reduzido; (SD4) semeadura direta implantada após preparo convencional do solo; e (SD5) semeadura direta implantada sob solo descoberto e sem cultivo.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

Para o elemento Ca, a taxa de enriquecimento variou de 1,58 a 2,31, no primeiro cultivo, e de 0,80 a 1,34 para o último cultivo, sendo que no primeiro cultivo todos os tratamentos apresentaram enriquecimento. No entanto, no último cultivo os tratamentos SD1 e

SD3 não apresentaram enriquecimento, devido à alta concentração no solo em relação à dos sedimentos. Para o Mg não houve enriquecimento por parte dos sedimentos erodidos, mesmo comportamento observado nos dados apresentados por Schick et al. (2000b).

6.6 PERDAS DE NUTRIENTES SOLÚVEIS POR EROSÃO HÍDRICA

6.6.1 Perdas de P solúvel na água, sedimentos e o total da erosão

As perdas totais de P na água e nos sedimentos apresentaram proporções distintas (Tabela 31). No geral as perdas foram maiores na água do escoamento superficial, mesmo este, sendo somente o P solúvel, enquanto nos sedimentos, o P é extraível. Comparando as proporções de P perdidos na água e no sedimento, observa-se uma diferença entre os tratamentos na média geral dos cultivos, na qual as proporções estão em 2434, 218, 267, 89 e 82 vezes maiores na água perdida por escoamento superficial, em relação às perdas nos sedimentos para os tratamentos SD1, SD2, SD3, SD4 e SD5, respectivamente. Isto é mostrado na Figura 22b, na qual apenas 22% das perdas de P nos sedimentos explica as perdas na água. Assim, as baixas quantidades de P perdido nos sedimentos foram influenciadas, principalmente, pelas baixas perdas de solo ocorridas nesses tratamentos.

As maiores perdas de P solúvel na água foram observadas no tratamento SD1 no segundo cultivo, com $17,11 \text{ kg ha}^{-1}$, o que representa 41% do total de P perdido neste cultivo entre todos os tratamentos, enquanto as menores perdas foram encontradas no tratamento SD4 no quinto cultivo, com $0,23 \text{ kg ha}^{-1}$.

De maneira geral, as maiores perdas ocorreram nos três primeiros cultivos para os tratamentos SD1, SD2 e SD3, com uma média de 28,9, 15,6 e $12,6 \text{ kg ha}^{-1}$, respectivamente. Para os demais tratamentos nos mesmos cultivos, não se observou estas perdas totais, nestes, somente o segundo cultivo teve perdas maiores, sendo que este cultivo de primavera/verão, coincide com a semeadura da cultura do milho e consequente aplicação de P na forma de superfosfato triplo, sendo aplicado sobre a superfície do solo.

Outro aspecto que influenciou distintas perdas entre os três primeiros e os três últimos cultivos se referem à forma de quantificar os teores de P na água de escoamento superficial, no qual, nos três primeiros ciclos de cultivo, esta foi realizada através de uma amostra composta por cultivo (amostra simples de cada chuva de 5 mL, formando uma amostra composta por cultivo), o que superestimou os teores de P na água para estes cultivos, quando comparados com os três últimos, dos quais fez-se análise do teor de P solúvel na água, por

evento individual e posterior média destes (Figura 22a). No caso das amostras compostas de água, observa-se que nos eventos com baixo volume de água perdidas, onde a concentração de P é maior em relação aos eventos com grandes perdas de água, onde a concentração é menor (Tabela 18), isto fez com que a concentração média dos cultivos estivesse superestimada.

Tabela 31 - Valores por cultivo das perdas de P solúvel na água da enxurrada, nos sedimentos e o total perdido, observados no período de 2015 a 2018, (média de duas repetições) em Cambissolo Húmico em Lages – SC.

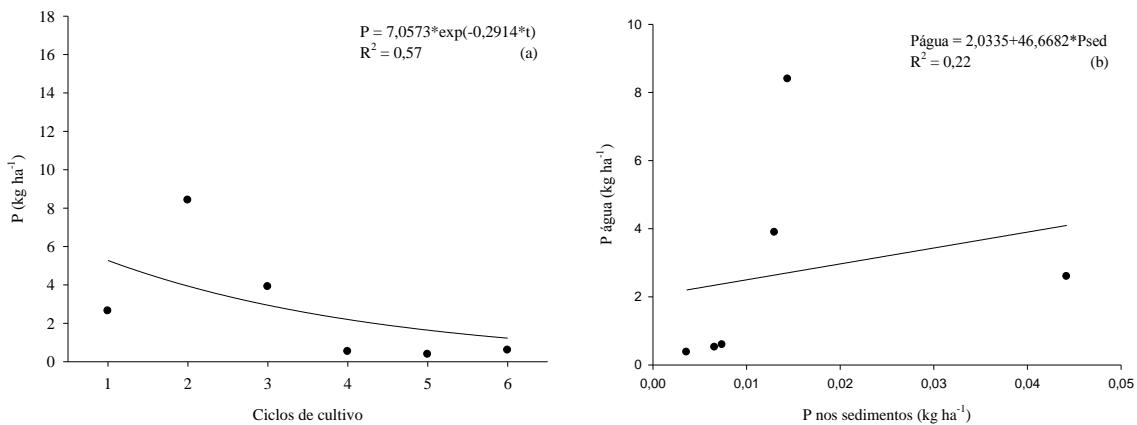
Ciclo	SD1			SD2			SD3			SD4			SD5		
	água	sed	total	Água	sed	total	água	sed	total	água	sed	total	água	sed	total
Perdas de P (kg ha^{-1})															
1º	2,56	0,02	2,58	6,93	0,04	6,97	1,96	0,03	1,99	0,79	0,05	0,83	0,75	0,08	0,83
2º	17,11	0,00	17,11	4,24	0,01	4,24	5,76	0,01	5,76	10,87	0,03	10,91	3,99	0,02	4,01
3º	9,18	0,00	9,18	4,28	0,02	4,30	4,79	0,01	4,80	0,53	0,02	0,55	0,66	0,02	0,68
4º	0,42	0,00	0,42	0,24	0,01	0,24	0,50	0,01	0,50	0,65	0,01	0,66	0,79	0,01	0,80
5º	0,63	0,00	0,64	0,31	0,00	0,31	0,25	0,00	0,25	0,23	0,00	0,24	0,45	0,01	0,46
6º	0,50	0,00	0,50	0,34	0,00	0,34	0,35	0,01	0,36	0,67	0,02	0,68	1,10	0,01	1,11
Média	5,07	0,01	5,07	2,72	0,01	2,73	2,27	0,01	2,28	2,29	0,02	2,31	1,29	0,02	1,32
D.P.	6,79	0,01	6,79	2,83	0,01	2,84	2,43	0,01	2,43	4,21	0,02	4,22	1,34	0,03	1,34
C.V. %	133	169	133	104	106	104	107	98	106	183	76	182	103	118	101

Nota: (SD1) semeadura direta consolidada, com manejo anterior também sob semeadura direta, constituindo a testemunha; (SD2) semeadura direta implantada após rotação de preparamos; (SD3) semeadura direta implantada após preparo reduzido; (SD4) semeadura direta implantada após preparo convencional do solo; e (SD5) semeadura direta implantada sob solo descoberto e sem cultivo.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

De maneira geral as perdas totais de P na erosão hídrica são consideradas baixas, conforme relatado por vários autores (SCHICK et al. 2000b; BERTOL et al. 2004; SILVA et al. 2005; BARBOSA et al. 2009; e BERTOL et al. 2017). Segundo Sharpley et al. (1994) valores inferiores a 5% do P total aplicado no solo. Baixas do ponto de vista agronômico, no entanto, são potencialmente causadoras de eutrofização das águas devido a sua concentração elevada, acima dos limites estipulados pela resolução do CONAMA, como já foi exposto no item 6.3.1. O fósforo, mesmo sendo pouco solúvel em água, é totalmente biodisponível no meio aquático, podendo causar a eutrofização das águas (MCISAAC et al. 1995).

Figura 22 - Relação entre perdas totais de P na água e nos sedimentos nos ciclos de cultivo na média de todos os tratamentos (a) e relação entre as perdas na água e nos sedimentos nos ciclos de cultivo (b) dos eventos erosivos obtidos entre os anos de 2015 e 2018 em Lages – SC.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

6.6.2 Perdas de K solúvel na água, sedimentos e o total de perdas por erosão hídrica

As perdas de K seguem o mesmo comportamento entre os três primeiros e os três últimos cultivos, como foram observados nas perdas de P, como mostra a Tabela 32, e a Figura 23 a. De maneira geral, estas maiores perdas ocorreram nos três primeiros cultivos onde os tratamentos SD1, SD2, SD3, SD4 e SD5, com uma média de 76, 66, 42, 44 e 26 kg ha⁻¹, respectivamente. Já para os três últimos cultivos, estas perdas médias foram menores, com 9, 4, 5 e 7 kg ha⁻¹, para os tratamentos SD1, SD2, SD3 e SD4, respectivamente. O tratamento SD5 apresentou perdas maiores com 13 kg ha⁻¹ o que representa 50% do que foi perdido nos três primeiros cultivos para este tratamento.

No geral as perdas foram maiores na água do escoamento superficial. Comparando as proporções de K perdidos na água e no sedimento observa-se uma grande diferença entre os tratamentos na média geral dos cultivos, na qual as proporções estão em 1244, 184, 218, 83 e 67 vezes maiores na água perdida por escoamento superficial, em relação às perdas nos sedimentos para os tratamentos SD1, SD2, SD3, SD4 e SD5, respectivamente.

As maiores perdas de K solúvel na água foram observadas no tratamento SD1 no segundo cultivo, com 131,9 kg ha⁻¹, o que representa 46,5% do total de K perdido neste cultivo entre todos os tratamentos, enquanto as menores perdas foram encontradas no tratamento SD2 no quarto cultivo, com 0,9 kg ha⁻¹. Ao comparar os cultivos, nota-se uma diminuição nas perdas de K ao longo do tempo, principalmente nos três primeiros cultivos para os tratamentos SD2, SD3, SD4 e SD5. No tratamento SD1, as maiores perdas foram no

segundo cultivo, seguido do terceiro. Estima-se que as maiores perdas totais nos três primeiros cultivos tenham relação com a amostragem por cultivo, abordado no item anterior sobre as perdas de P.

Avaliando tratamento com seis e nove anos sob semeadura direta, Bertol et al. (2004) observaram perdas de K na água inferiores às observadas nesta pesquisa; no entanto as perdas nos sedimentos, estão próximas a estas, e consideradas baixas. Esta relação entre perdas de K na água e nos sedimentos para a semeadura direta com seis e nove anos de condução foi de 25 e 61 vezes maior, nota-se que quanto maior o tempo de condução da semeadura direta, maior é a proporção de K perdido na água, em comparação aos sedimentos. Nota-se claramente nesta pesquisa, aonde o tratamento SD1, conduzido sob semeadura direta durante 30 anos, esta relação é extremamente superior aos demais tratamentos. As perdas de K nos sedimentos explicam 88% das perdas de K na (Figura 23b).

Tabela 32 - Valores por cultivo das perdas de K solúvel na água da enxurrada, nos sedimentos e o total perdido, observados no período de 2015 a 2018, (média de duas repetições) em Cambissolo Húmico em Lages – SC.

Ciclo	SD1			SD2			SD3			SD4			SD5		
	água	sed	total	água	sed	total	água	sed	total	água	sed	total	água	sed	total
-----Perdas de K (kg ha^{-1})-----															
1º	31,9	0,22	32,1	124,9	0,50	125,3	60,4	0,40	60,8	86,7	0,62	87,3	28,9	0,92	29,8
2º	131,9	0,05	131,9	44,5	0,20	44,7	40,6	0,20	40,8	33,7	0,71	34,4	32,6	0,37	33,0
3º	63,9	0,04	63,9	27,5	0,22	27,7	23,3	0,14	23,5	9,8	0,18	10,0	15,6	0,26	15,9
4º	2,2	0,02	2,2	0,9	0,08	0,9	2,3	0,10	2,4	4,3	0,23	4,5	4,8	0,25	5,0
5º	19,8	0,01	19,8	9,1	0,02	9,1	9,8	0,01	9,8	10,6	0,05	10,7	19,4	0,14	19,6
6º	5,6	0,03	5,7	2,3	0,05	2,4	1,9	0,19	2,1	5,2	0,31	5,6	13,8	0,22	14,0
Média	42,5	0,06	42,6	34,9	0,18	35,0	23,1	0,17	23,3	25,1	0,35	25,4	19,2	0,36	19,5
D.P.	49,1	0,1	49,1	47,2	0,2	47,3	23,5	0,1	23,6	32,1	0,3	32,3	10,3	0,3	10,4
C.V.%	115	130	115	135	98	135	102	74	101	128	75	127	53	80	53

Nota: (SD1) semeadura direta consolidada, com manejo anterior também sob semeadura direta, constituindo a testemunha; (SD2) semeadura direta implantada após rotação de preparamos; (SD3) semeadura direta implantada após preparo reduzido; (SD4) semeadura direta implantada após preparo convencional do solo; e (SD5) semeadura direta implantada sob solo descoberto e sem cultivo.

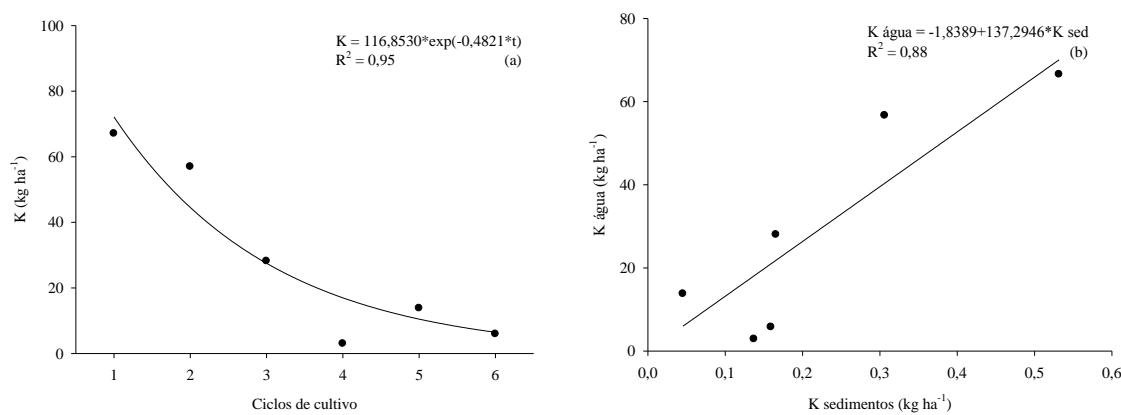
Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

As perdas do K na água da enxurrada foram elevadas, concordando com Schick et al. (2000b) e Guadagnin (2003); as referidas perdas variaram entre os cultivos, em decorrência das oscilações das perdas de água e das concentrações do elemento na água, já discutidas anteriormente.

Proporções das perdas de K são maiores em relação às perdas de P. Na média geral dos cultivos essa perda é 11 vezes maior em relação as perdas de P. Entre os cultivos, o

tratamento SD1 tem a menor relação com 8,4 vezes, e o tratamento SD5, apresenta a maior, com 14,7 vezes em relação ao P. Bertol et al. (2017), observaram perdas de K cinco vezes maiores em relação ao P, na média anual no tratamento semeadura direta, durante os 15 anos de pesquisa.

Figura 23 - Relação entre perdas totais de K nos ciclos de cultivo nos tratamentos média de todos os tratamentos (a) e relação entre as perdas na água e nos sedimentos (b) dos eventos erosivos obtidos entre os anos de 2015 e 2018 em Lages – SC.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

6.6.3 Perdas de Ca solúvel na água, sedimentos e o total de perdas por erosão hídrica

As perdas totais de Ca por erosão hídrica variam de $5,5 \text{ kg ha}^{-1}$ para o tratamento SD1 no quarto cultivo (Tabela 33), e de 222 kg ha^{-1} no tratamento SD3 no primeiro cultivo, uma variação de 40 vezes entre as perdas totais. Na média geral dos seis ciclos de cultivo, a variação entre os cinco tratamentos foi menor, onde os tratamentos SD2, SD3, SD4, SD5, apresentaram perdas de Ca próximas, com 92, 94, 101 e 89 kg ha^{-1} , respectivamente. Já o tratamento SD1 apresentou uma perda menor em relação aos demais, com apenas $62,6 \text{ kg ha}^{-1}$, 33% menor em relação a média dos demais tratamentos.

No geral as perdas seguem as mesmas tendências em relação ao P e K, com maiores perdas na água do escoamento superficial. Comparando as proporções de Ca perdidos na água e nos sedimentos, observa-se uma grande diferença entre os tratamentos na média geral dos cultivos, na qual as proporções estão em 323, 100, 133, 55 e 51 vezes maiores na água perdida por escoamento superficial, em relação às perdas nos sedimentos para os tratamentos SD1, SD2, SD3, SD4 e SD5, respectivamente, o que pode ser observado na Figura 24b. Na Figura 24a, podemos observar uma maior perda de Ca nos três primeiros cultivos, onde os tratamentos SD1, SD2, SD3, SD4 e SD5, apresentaram uma perda média entre os tratamentos

de 110, 165, 165, 167 e 138 kg ha⁻¹, respectivamente. Já para os três últimos cultivos, estas perdas medias foram menores, com 15, 19, 22, 35 e 40 kg ha⁻¹, para os tratamentos SD1, SD2, SD3 SD4, e SD5, respectivamente. As perdas apresentadas na Tabela 33, são baixas em relação às perdas apresentadas por Bertol et al. (2017), com 15 anos de pesquisa no mesmo solo, e Bertol et al. (2005).

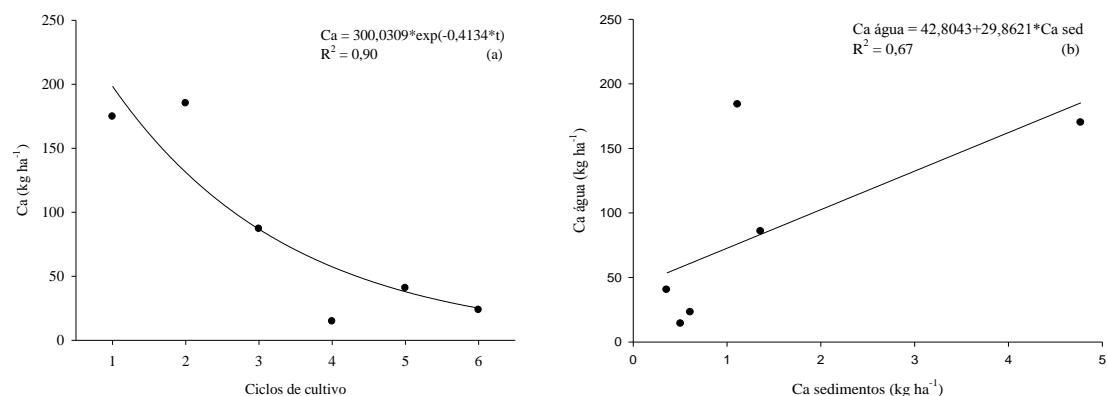
Tabela 33 - Valores por cultivo das perdas de Ca solúvel na água da enxurrada, nos sedimentos e o total perdido, observados no período de 2015 a 2018, (média de duas repetições) em Cambissolo Húmico em Lages – SC.

Ciclo	SD1			SD2			SD3			SD4			SD5		
	água	sed	total												
Perdas de Ca (kg ha ⁻¹)															
1º	80,7	2,3	83,0	213,4	3,4	216,9	218,3	3,6	221,8	203,2	5,9	209,1	134,0	8,7	142,7
2º	155,3	0,2	155,5	186,2	0,8	187,0	185,4	0,7	186,1	201,3	2,2	203,6	191,9	1,6	193,5
3º	90,1	0,3	90,5	88,7	1,3	90,0	86,7	1,4	88,1	86,2	2,0	88,2	76,6	1,8	78,4
4º	5,4	0,1	5,5	5,5	0,3	5,8	14,0	0,4	14,4	24,3	1,1	25,3	21,8	0,7	22,5
5º	33,1	0,1	33,1	38,1	0,2	38,4	41,7	0,1	41,8	37,9	0,4	38,3	51,1	1,0	52,1
6º	7,8	0,2	7,9	12,2	0,2	12,4	10,2	0,6	10,8	40,2	1,1	41,4	44,9	0,9	45,8
Média	62,1	0,5	62,6	90,7	1,1	91,8	92,7	1,1	93,9	98,9	2,1	101,0	86,7	2,5	89,2
D.P.	58,0	0,9	58,2	89,8	1,2	90,8	89,4	1,3	90,4	82,8	2,0	84,4	64,2	3,1	65,7
C.V. %	93	169	93	99	117	99	96	112	96	84	94	84	74	126	74

Nota: (SD1) semeadura direta consolidada, com manejo anterior também sob semeadura direta, constituindo a testemunha; (SD2) semeadura direta implantada após rotação de preparos; (SD3) semeadura direta implantada após preparo reduzido; (SD4) semeadura direta implantada após preparo convencional do solo; e (SD5) semeadura direta implantada sob solo descoberto e sem cultivo.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

Figura 24 - Relação entre perdas totais de Ca nos ciclos de cultivo (a) e relação de perda média entre Ca na água e nos sedimentos (b) dos eventos erosivos obtidos entre os anos de 2015 e 2018 em Lages – SC.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

6.6.4 Perdas de Mg solúvel na água, sedimentos e o total de perdas por erosão hídrica

As perdas de Mg na média dos seis cultivos para todos os tratamentos foram próximas, entre 18 kg ha⁻¹, para o tratamento SD1, e 26 kg ha⁻¹, para o SD4 (Tabela 34). No geral entre os ciclos de cultivo e os tratamentos, observa-se uma amplitude de 0,8 kg ha⁻¹ para o tratamento SD1 no sexto cultivo, e 60 kg ha⁻¹, para o tratamento SD2 no primeiro cultivo.

Tabela 34 - Valores por cultivo das perdas de Mg solúvel na água da enxurrada, nos sedimentos e o total perdido, observados no período de 2015 a 2018, (média de duas repetições) em Cambissolo Húmico em Lages – SC.

Ciclo	SD1			SD2			SD3			SD4			SD5		
	água	sed	Total												
-Perdas de Mg (kg ha ⁻¹)-															
1º	22,1	0,5	22,5	59,7	0,7	60,3	58,9	0,9	59,8	56,1	1,4	57,5	37,3	1,8	39,1
2º	47,7	0,0	47,7	47,9	0,2	48,1	49,5	0,2	49,7	50,2	0,6	50,8	47,7	0,4	48,1
3º	28,9	0,1	29,0	26,5	0,3	26,8	27,6	0,3	27,9	25,2	0,4	25,5	21,2	0,4	21,6
4º	1,4	0,0	1,4	1,6	0,1	1,6	3,3	0,1	3,3	6,0	0,2	6,2	4,9	0,2	5,1
5º	7,2	0,0	7,2	7,6	0,0	7,6	6,9	0,0	6,9	9,2	0,1	9,3	10,5	0,2	10,7
6º	0,8	0,0	0,8	1,4	0,0	1,5	1,3	0,1	1,4	4,4	0,2	4,6	4,7	0,2	4,9
Média	18,0	0,1	18,1	24,1	0,2	24,3	24,6	0,3	24,8	25,2	0,5	25,6	21,0	0,5	21,6
D.P.	18,5	0,2	18,5	25,0	0,2	25,2	25,0	0,3	25,2	23,0	0,5	23,4	18,0	0,6	18,3
C.V. %	103	167	102	104	111	104	102	118	101	91	97	91	85	117	85

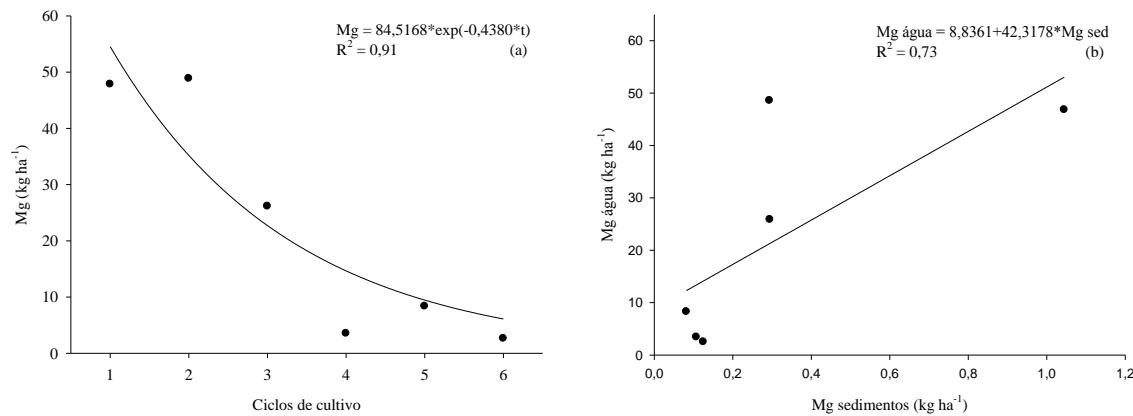
Nota: (SD1) semeadura direta consolidada, com manejo anterior também sob semeadura direta, constituindo a testemunha; (SD2) semeadura direta implantada após rotação de preparos; (SD3) semeadura direta implantada após preparo reduzido; (SD4) semeadura direta implantada após preparo convencional do solo; e (SD5) semeadura direta implantada sob solo descoberto e sem cultivo.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

As perdas de Mg seguem o mesmo comportamento entre os três primeiros e os três últimos cultivos, como foi observado nas perdas totais dos demais nutrientes (P, K, e Ca). De maneira geral, estas maiores perdas ocorreram nos três primeiros cultivos onde os tratamentos SD1, SD2, SD3, SD4 e SD5, com uma média de 33, 45, 46, 45 e 36 kg ha⁻¹, respectivamente. Já para os três últimos cultivos, estas perdas médias foram menores, com 3,1; 10,7; 3,9; 6,7 e 6,9 kg ha⁻¹, para os tratamentos SD1, SD2, SD3, SD4 e SD5, respectivamente (Figura 25a).

Nas proporções de Mg perdidos na água e nos sedimentos, observa-se na Figura 25b, a diferença entre os tratamentos na média geral dos cultivos, na qual as proporções estão em 360, 109, 123, 57 e 47 vezes maiores na água perdida por escoamento superficial, em relação às perdas nos sedimentos para os tratamentos SD1, SD2, SD3, SD4 e SD5, respectivamente. Estas proporções estão próximas às observadas para as perdas de Ca.

Figura 25 - Relação entre perdas totais de Mg nos ciclos de cultivo (a) e relação de perda média entre Mg na água e nos sedimentos nos tratamentos média de todos os tratamentos (b) dos eventos erosivos obtidos entre os anos de 2015 e 2018 em Lages – SC.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

6.7 TEOR DE CARBONO ORGÂNICO DO SOLO

O teor de carbono orgânico total do solo (COT) variou entre os tratamentos durante o período da pesquisa (Tabela 35). Na média geral entre os ciclos de cultivo os valores situaram-se entre 30,2 e 53,3 g kg⁻¹ (Figura 26 c), mostrando um incremento de 5% no COT nesse período. No início da pesquisa os tratamentos SD4 e SD5, historicamente convencionais, diferiam do tratamento SD1 (testemunha), em todas as camadas do solo, corroborando com os resultados apresentados por Andrade et al. (2010) e Bertol et al. (2017) que observaram maiores teores de COT nos sistemas conservacionistas, comparados aos convencionais. O tratamento SD2 diferiu somente do SD5, a partir da segunda camada avaliada (2,5 a 5,0 cm).

Em valores absolutos, o tratamento SD1 apresentou 22, 37, 50 e 59% mais COT em relação aos tratamentos SD2, SD3, SD4 e SD5, respectivamente, na camada superficial (0-2,5 cm). Na Figura 26a estão graficamente apresentados os teores do COT para todos os tratamentos e camadas do solo no início da pesquisa, observando-se as diferenças entre os tratamentos e entre as camadas. Já na Figura 26b, observa-se o comportamento dos teores de COT nos distintos tratamentos e seu reflexo nos teores entre as camadas no final da pesquisa, em que o SD1 diferiu do SD5 somente na primeira e última camada (Tabela 35).

Tabela 35 - Teores de carbono orgânico total no solo no início da pesquisa em 2015, e no final da pesquisa em 2018, em cinco camadas para um Cambissolo Húmico em Lages SC.

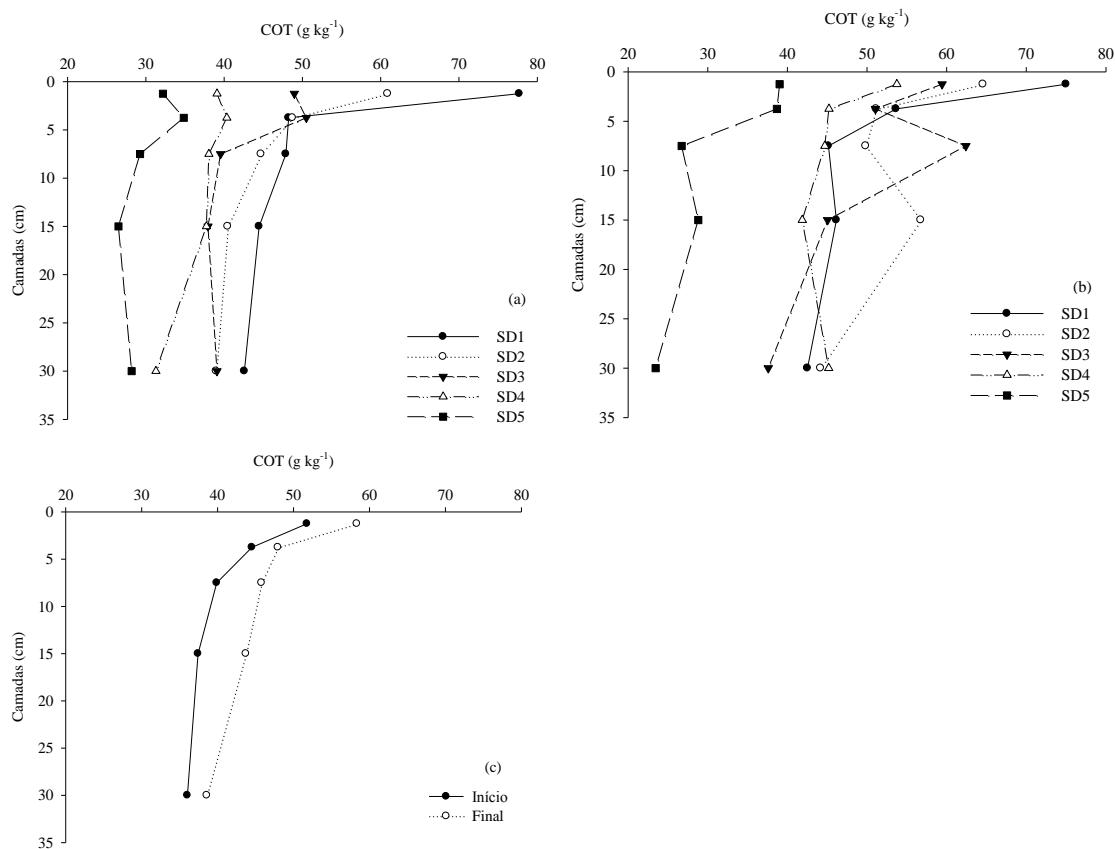
Camadas (cm)	Tratamentos					Média	C.V.%	
	SD1	SD2	SD3	SD4	SD5			
					Início (g kg ⁻¹)			
0,0 a 2,5	77,7 a	60,9 ab	49,0 ab	39,1 b	32,2 b	51,7	11,84	
2,5 a 5,0	48,2 a	48,8 a	50,5 a	40,3 ab	34,8 b	44,5	14,28	
5,0 a 10,0	47,9 a	44,7 a	39,5 ab	38,0 ab	29,3 b	39,9	15,09	
10,0 a 20,0	44,5 a	40,5 a	37,9 ab	37,7 ab	26,5 b	37,4	16,35	
20,0 a 40,0	42,6 a	39,0 ab	39,1 ab	31,3 bc	28,2 c	36,0	13,46	
Média	52,2	46,8	43,2	37,3	30,2	-	-	
	Final (g kg ⁻¹)							
0,0 a 2,5	75,0 a	64,6 ab	59,4 ab	53,7 bc	39,0 c	58,3	12,93	
2,5 a 5,0	53,7 a	51,2 a	51,1 a	45,2 a	38,7 a	47,9	15,51	
5,0 a 10,0	45,2 ab	49,8 a	62,4 a	44,7 ab	26,7 b	45,8	11,22	
10,0 a 20,0	46,2 ab	56,8 a	45,1 ab	41,9 ab	28,8 b	43,7	11,09	
20,0 a 40,0	42,5 a	44,2 a	37,6 ab	45,2 a	23,5 b	38,6	20,51	
Média	52,5	53,3	51,1	46,1	31,3	-	-	

Nota: (SD1) semeadura direta consolidada, com manejo anterior também sob semeadura direta, constituindo a testemunha; (SD2) semeadura direta implantada após rotação de preparos; (SD3) semeadura direta implantada após preparo reduzido; (SD4) semeadura direta implantada após preparo convencional do solo; e (SD5) semeadura direta implantada sob solo descoberto e sem cultivo. Médias seguidas pela mesma letra na linha em cada camada não diferem entre si pelo teste de Tukey com 5% de significância.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

Um incremento no COT foi observado nos tratamentos historicamente convencionais (SD4 e SD5) entre o início e o final da pesquisa. Em valores absolutos, deve ser considerada a diferença de COT entre SD1 e SD2, SD3, SD4 e SD5, respectivamente de 14, 21, 28 e 48%, maior no SD1, na camada superficial (0-2,5 cm). De maneira geral, os valores de coeficiente de variação foram elevados, o que pode justificar a pequena diferença de valores absolutos entre os dados, embora com alguma diferença estatística.

Figura 26 - Teores de carbono orgânico total no solo (COT) no início da pesquisa em 2015 (a), e no final da pesquisa em 2018 (b) e médias dos tratamentos entre os períodos da pesquisa (c), em cinco camadas para um Cambissolo Húmico em Lages - SC.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

6.8 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DO SOLO NO INÍCIO E NO FINAL DA PESQUISA

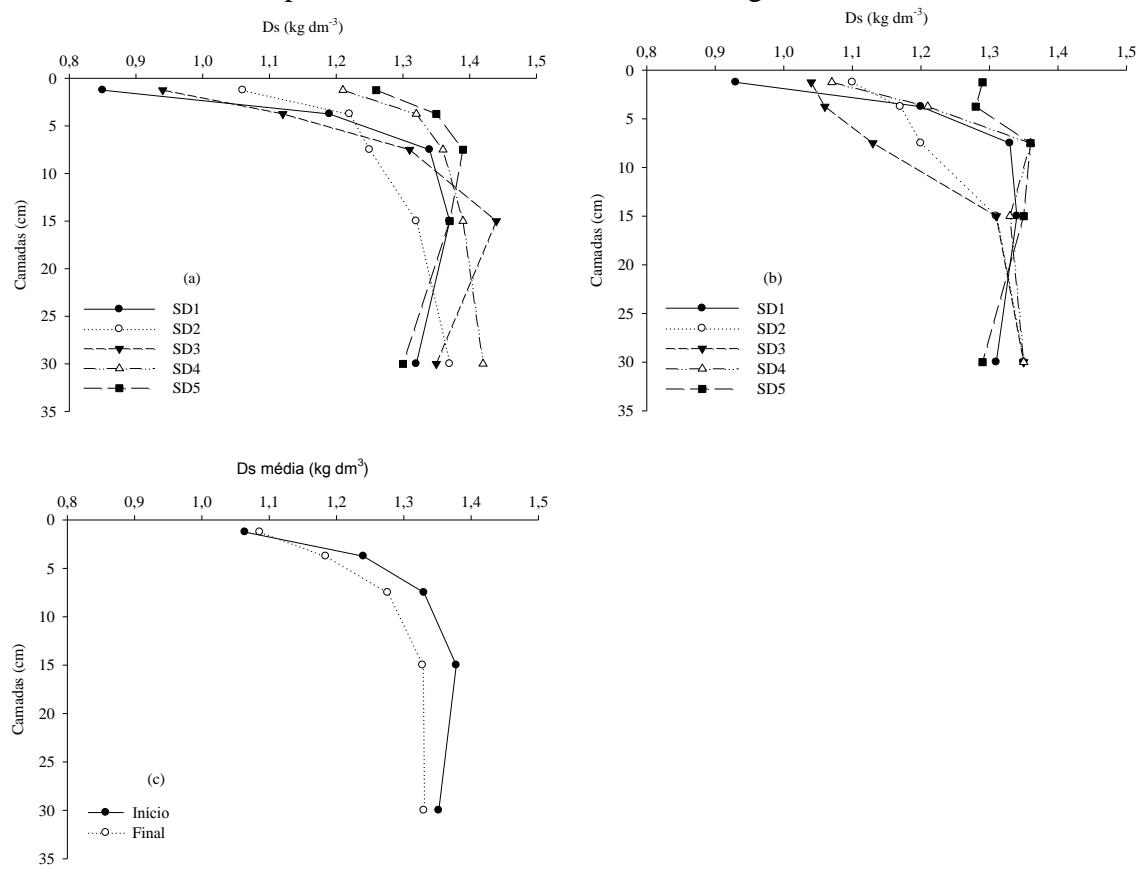
6.8.1 Densidade do solo

A densidade do solo (D_s) no início da pesquisa (Tabela 39) diferiu entre os tratamentos com histórico convencional daqueles com histórico conservacionista, na camada superficial (0-2,5 cm). O SD4 e SD5 diferiram do SD1 e SD3, enquanto, o SD2 não diferiu dos demais. Os tratamentos que eram conservacionistas de solo apresentaram, em média, $0,95 \text{ kg dm}^{-3}$ enquanto nos convencionais esta variável apresentou valores de $1,23 \text{ kg dm}^{-3}$, ou seja, uma diferença de 33%, concordando com Souza et al. (2017), para a semeadura direta com 12 anos de condução. A baixa D_s constatada na fase inicial nesta pesquisa deveu-se ao revolvimento do solo realizado antes da semeadura das culturas e à ausência de tráfego de máquinas após o preparo, nos tratamentos SD3, SD4 e SD5. Nos tratamentos SD1 e SD2, no

entanto, a camada superficial apresentava grande acúmulo de resíduos culturais já na fase inicial da pesquisa, o que concorreu para diminuir os valores de Ds.

Nas camadas inferiores do solo, houve diferença de Ds somente na de 20-40 cm, na qual SD4 e SD5 diferiram entre si. No geral, houve aumento na Ds em profundidade, com valores de $1,1 \text{ kg dm}^{-3}$ na superfície e de $1,4 \text{ kg dm}^{-3}$ na camada de 20-40 cm (Figura 30a e b). Isto era esperado, devido ao adensamento natural do solo, conforme constatado também por Bertol et al. (2004), o que, segundo os autores, se deve ao elevado teor de silte desse solo que favorece o adensamento temporal.

Figura 27 - Densidade do solo em todos os tratamentos (Ds) no início (a) e no final (b), e medias dos tratamentos entre os períodos da pesquisa (c), nas cinco camadas avaliadas para um Cambissolo Húmico em Lages SC.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

Após três anos de condução da pesquisa pequenas alterações na Ds ocorreram, em geral, nos tratamentos e camadas avaliadas (Figura 37c). Na camada 5-10 cm, o tratamento SD1 não diferiu dos tratamentos com um histórico convencional (SD4 e SD5)(Tabela 39), devido, provavelmente, à ausência de revolvimento do solo durante o período da pesquisa, o

que reduziu o teor de COT, nessa camada, em relação aos tratamentos com histórico conservacionista.

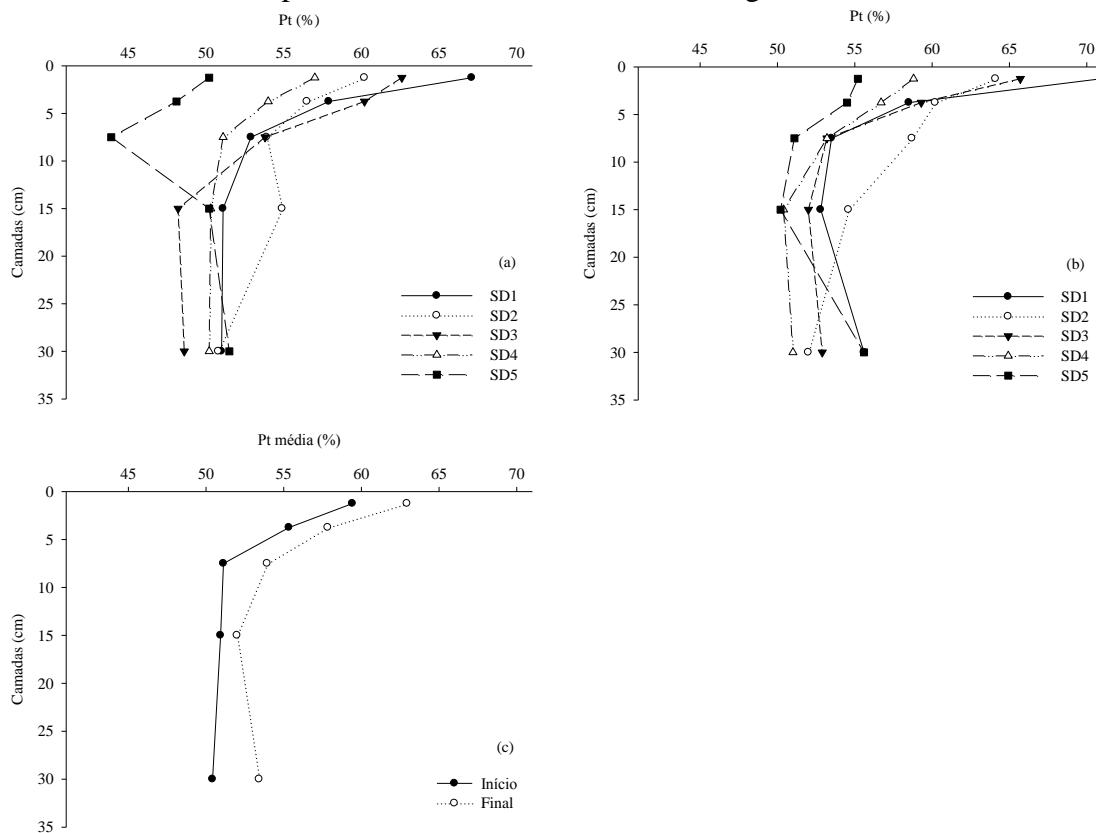
6.8.2 Porosidade total do solo

A porosidade total do solo (Pt) apresentou uma amplitude de valores entre 43,9 e 70,9% entre os tratamentos, camadas e épocas de amostragem do solo (Figura 28). Na figura 1, comparando a e b, nota-se que houve aumento de Pt na camada superficial, em todos os tratamentos e, na média geral das épocas, houve um pequeno aumento, cerca de 4%. Os valores da Tabela 36 mostram que houve diferença entre os tratamentos SD1 e SD5, nas três camadas mais superficiais do solo, resultantes do histórico de uso da terra e manejo do solo de ambos os tratamentos.

No final da pesquisa, o tratamento SD1 apresentou diferença em relação aos tratamentos com histórico convencional com e sem cultivo (SD4 e SD5) no qual os mesmos apresentaram uma Pt de 22% menor. Comparando o tratamento SD1 (testemunha) com SD5 e SD4 (Figura 29 a, b), no início e final da pesquisa, percebe-se uma melhoria substancial na Pt após três anos de mudança de uso da terra (SD5) e manejo do solo (SD4). O maior volume de Pt nas camadas superficiais do solo em relação às camadas inferiores, é justificado, possivelmente, pelo aumento de MO decorrente das raízes das culturas, e a consequente abertura de galerias, após a decomposição das raízes, o que está de acordo com os valores de densidade do solo que aumentam em profundidade (LUCIANO et al., 2010).

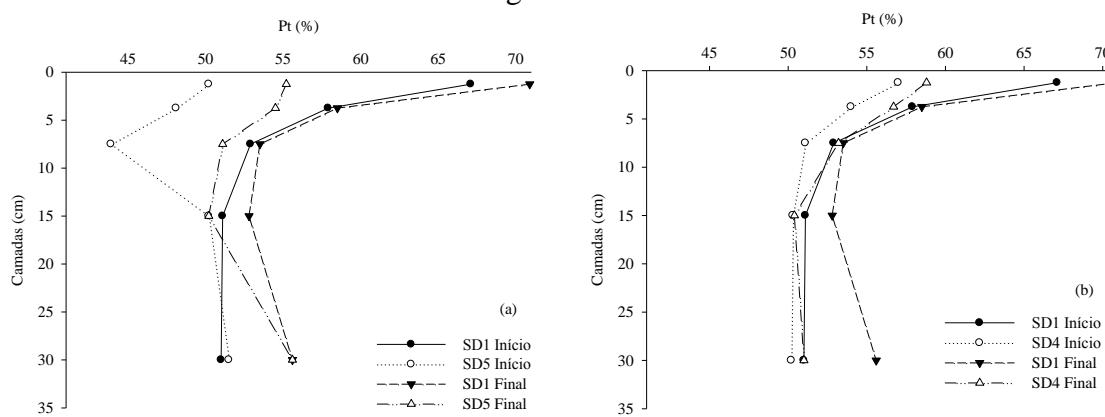
Já na camada de 5-10 cm, o tratamento SD5 se diferenciou do SD2, enquanto, os demais tratamentos não diferiram. Nas demais camadas não houve diferença entre os tratamentos, onde, na média, a Pt diminuiu em profundidade, com valores de 62,9% na camada superficial (0-2,5 cm) e de 52,8% na camada mais profunda (20-40 cm). Esta diminuição da Pt em profundidade ocorreu pelo aumento da Ds, comportamento intrínseco ao Cambissolo com altos teores de silte. No geral, os valores de Pt foram maiores do que os obtidos por Andrade et al. (2010) para o mesmo tipo de solo na semeadura direta.

Figura 28 - Porosidade total do solo (Pt) no início (a) e no final (b) em todos os tratamentos, e médias dos tratamentos no início e final da pesquisa (c), nas cinco camadas avaliadas para um Cambissolo Húmico em Lages SC.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

Figura 29 - Relação da porosidade total (Pt) entre os tratamentos SD1 SD5 no início e final (a), e entre SD1 SD4 no início e final (b) nas cinco camadas avaliadas para um Cambissolo Húmico em Lages SC.

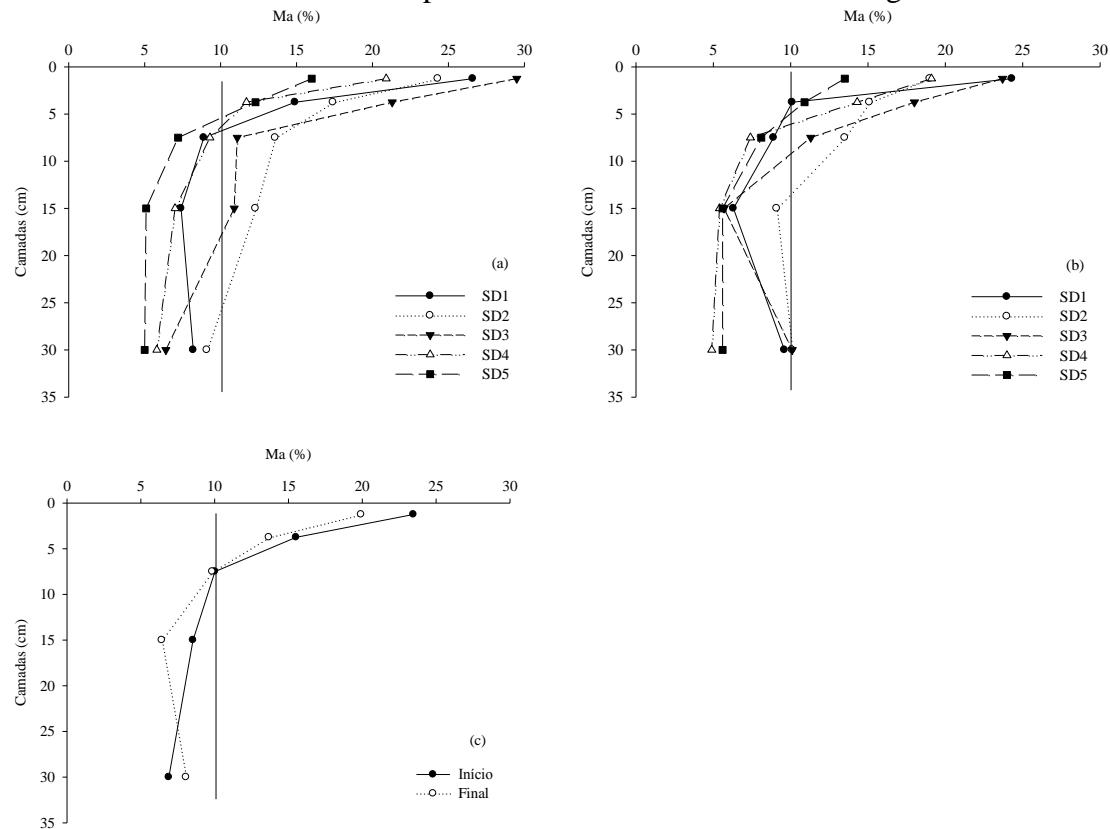


Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

6.8.3 Valores de bioporos e macroporos do solo

A bioporosidade e a macroporosidade do solo não apresentaram diferença no início da presente pesquisa, com valores elevados em todos os tratamentos, acima de 10% nas camadas de 0-2,5; 2,5-5 e 5-10 cm (Tabela 36 e Figura 30a). Nas demais camadas a macroporosidade ficou abaixo de 10%, valor considerado limite para o desenvolvimento das raízes determinado por Reynolds et al. (2002), cuja limitação foi verificada mais intensamente a partir da camada 10-20 cm (Figura 30a, b, c). A maior bio e macroporosidade nos manejos conservacionistas, ocorreram devido à manutenção da cobertura do solo, condicionando ambiente adequado para a atividade biológica. Já nos sistemas convencionais, o revolvimento do solo no tempo pregresso até o momento de início da pesquisa, contribuiu para esses valores elevados de macroporos. Andrade et al. (2010) mostraram macroporosidade numericamente maior no preparo convencional do que na semeadura direta.

Figura 30 - Macroporosidade do solo (Ma) no início (a) e no final (b) em todos os tratamentos, e médias dos tratamentos no início e final da pesquisa (c), nas cinco camadas avaliadas para um Cambissolo Húmico em Lages SC.



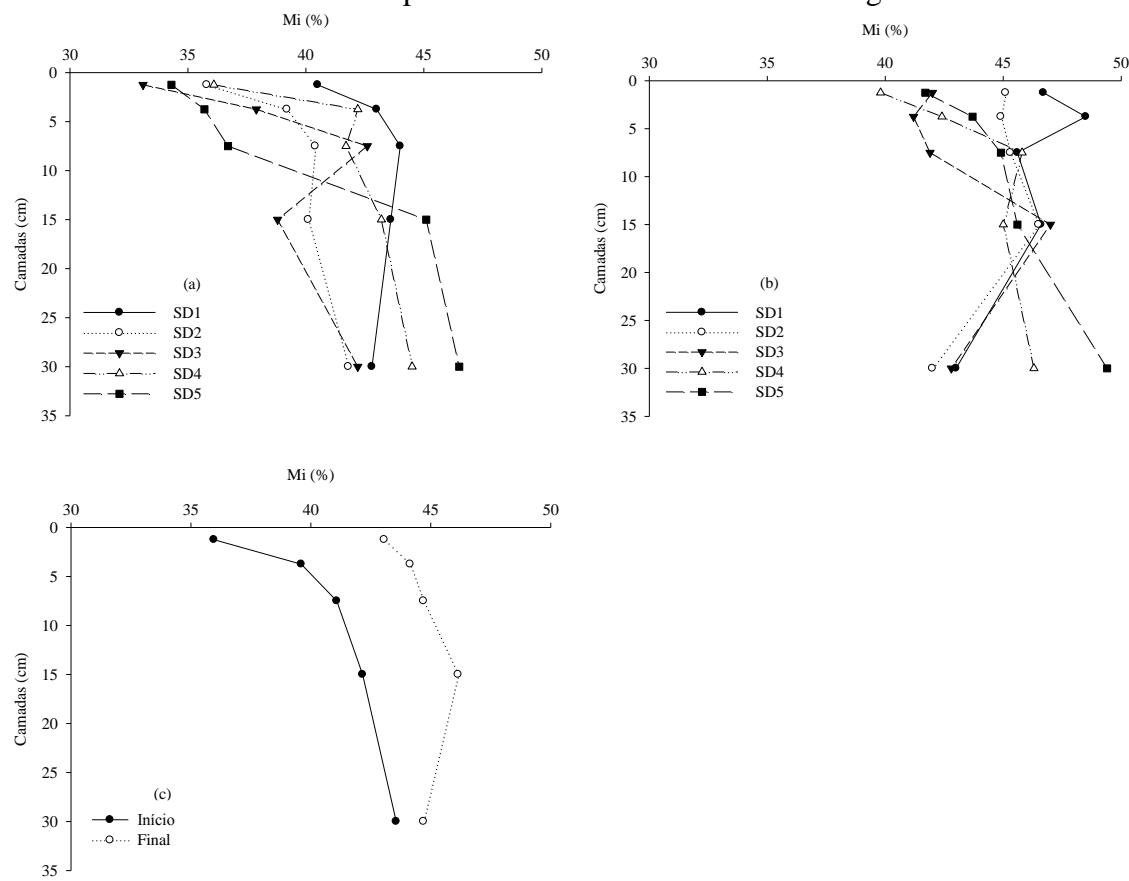
Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

No final dos três anos de pesquisa (Tabela 37), observa-se comportamento semelhante ao do início, sem diferença do tratamento testemunha (SD1) para os demais, em que somente para a macroporosidade na camada 0-2,5 cm. O tratamento SD1 foi superior ao SD5, demonstrando a influência do efeito residual de uso da terra anterior a essa pesquisa. Observaram-se altos valores de coeficiente de variação entre os tratamentos, 20 e 50%, o que pode indicar ausência de diferença significativa entre os tratamentos avaliados.

6.7.4 Valores de microporos do solo

A microporosidade do solo (Mi) seguiu a mesma tendência da bio e macroporosidade, sem diferença entre os tratamentos no início da pesquisa nas cinco camadas avaliadas (Tabela 36 e Figura 31a).

Figura 31 - Microporosidade do solo (Mi) no início (a) e no final (b) em todos os tratamentos, e médias dos tratamentos no início e final da pesquisa (c) e nas cinco camadas avaliadas para um Cambissolo Húmico em Lages SC.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

Na média dos tratamentos e nas distintas camadas os valores foram semelhantes um dos outros, com 36,0; 39,6; 41,1; 42,2 e 43,5%, respectivamente para as distintas camadas.

Os valores de Mi foram semelhantes aos apresentados por Bertol et al. (2004), para o mesmo solo, na semeadura direta e no preparo convencional. De maneira geral, esperava-se um aumento dos Mi em profundidade, pela redução dos macroporos. A pequena variação no volume da Mi apresentada na Figura 31c, entre os tratamentos, mostra que esta variável é modificada mais lentamente pela mudança de uso da terra e manejo do solo (BERTOL et al. 2004).

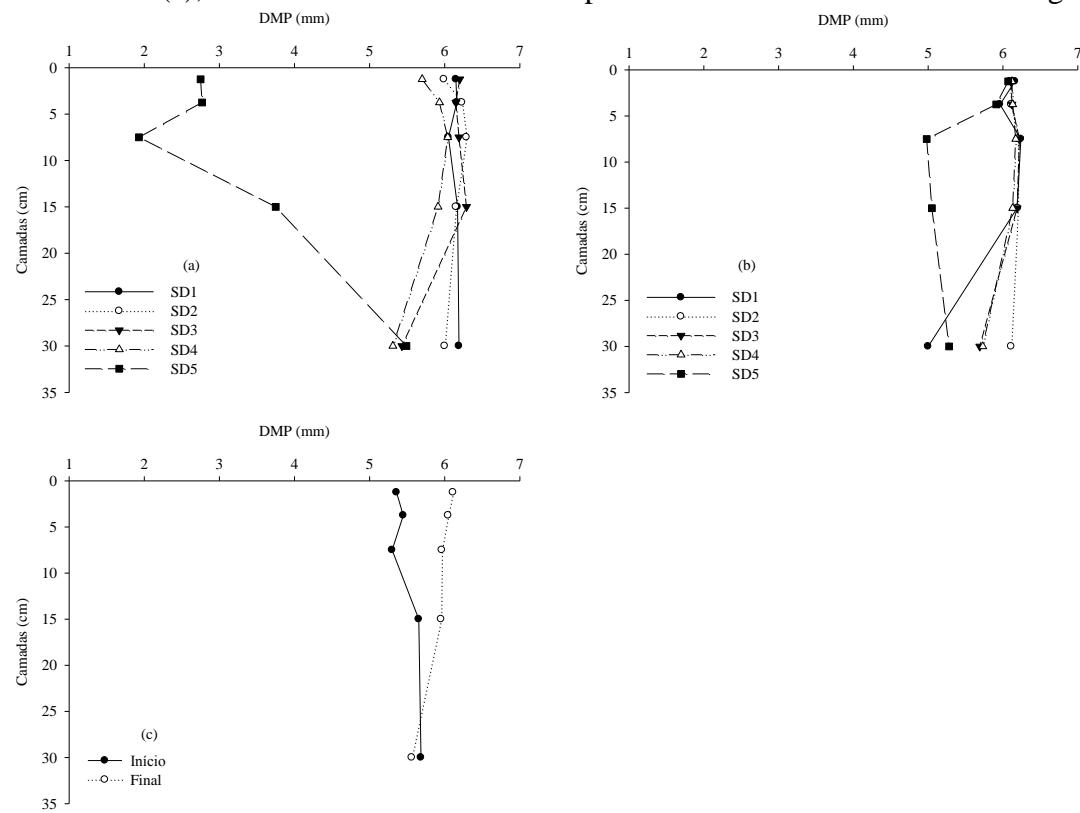
6.8.5 Valores de diâmetro médio ponderado de agregados do solo

O diâmetro médio ponderado dos agregados do solo (DMP), apresentou valores entre 1,93 e 6,29 mm, nos distintos tratamentos, profundidades e épocas de coleta (Tabelas 36 e 37). De maneira geral, os valores são considerados elevados, concordando com Andrade et al. (2010), para o mesmo solo; no entanto, observou-se diferença entre o tratamento SD5 e os demais, para quatro camadas (0...20 cm), o que reflete o uso da terra anterior no SD5 (Figura 32a).

Já os valores do final da pesquisa apresentados na Figura 32b mostraram melhorias na agregação do solo após mudança no uso da terra, persistindo essa diferença nas camadas mais profundas (5...40 cm). A melhoria na agregação do solo pode servir para avaliar a melhoria de qualidade estrutural do solo, com efeito positivo na infiltração e armazenamento de água no solo. Na média geral das duas épocas de avaliação (Figura 32c), os valores de DMP variaram entre 5,3 e 6,1 mm, corroborando com os apresentados por Souza et al. (2017) para o mesmo Cambissolo Húmico, sob semeadura direta.

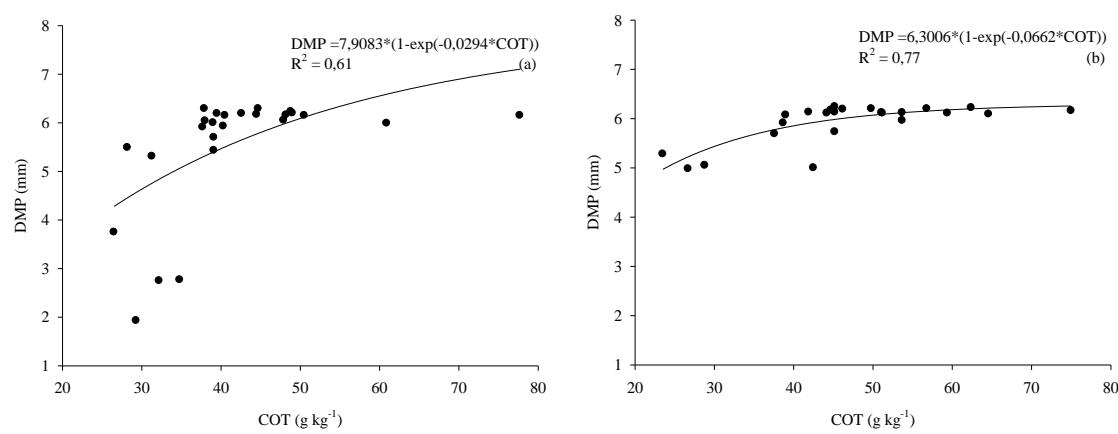
A relação entre os teores de COT e a agregação do solo pelo DMP, é apresentada na Figura 33a e b. Mudança no uso da terra e manejo do solo proporcionou aumento nos teores de COT, com efeito positivo na agregação do solo. Assim, o modelo $y = a*(1-exp(-b*x))$ ajustou-se satisfatoriamente aos dados de COT do solo, e explicou o DMP em um nível de 77%, com um incremento de 16% desde o início até o final da presente pesquisa. O COT tem um efeito positivo na formação e estabilização de agregados, bem como na densidade e porosidade do solo (ENSINAS et al., 2014).

Figura 32 - Diâmetro médio ponderado dos agregados do solo (DMP) no início (a), no final (b), em todos os tratamentos, e média dos tratamentos no início e final da pesquisa (c), nas cinco camadas avaliadas para um Cambissolo Húmico em Lages SC.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

Figura 33 - Relação entre diâmetro médio ponderado dos agregados do solo (DMP) e o carbono orgânico total (COT) no inicio (a) e no final (b) da pesquisa nas cinco camadas avaliadas para um Cambissolo Húmico em Lages SC.

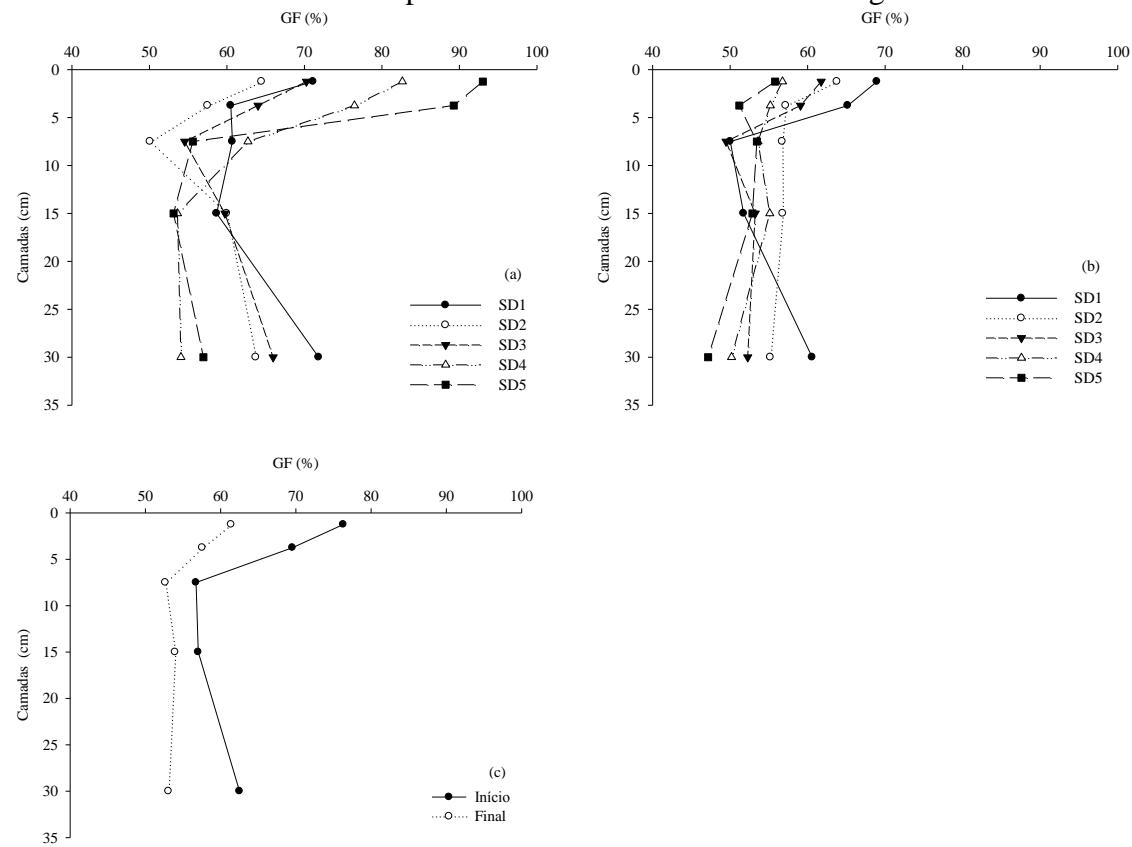


Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

6.8.6 Valores de grau de floculação das argilas do solo

O grau de floculação das argilas (GF) seguiu a mesma tendência dos demais atributos físicos do solo, não apresentando diferença entre tratamentos no início da pesquisa, com uma amplitude de valores entre 53,1 e 93,0%, e um coeficiente de variação alto, entre 14 e 23%. No início da pesquisa (Tabela 36 e Figura 34 a) observaram-se valores maiores nas camadas superficiais do solo (0-5 cm), devido a aplicação de calcário dolomítico nessa fase para correção da acidez do solo nos distintos tratamentos, que promoveu a floculação das argilas do solo.

Figura 34 - Resultados grau de floculação das argilas (GF) no início (a), no final (b), em todos os tratamentos, e média dos tratamentos no início e final da pesquisa (c), nas cinco camadas avaliadas para um Cambissolo Húmico em Lages SC.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

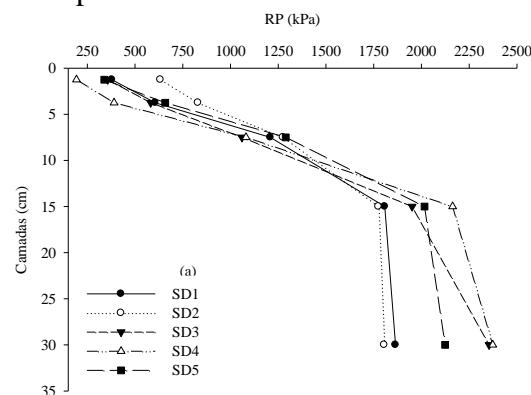
No final da pesquisa (Tabela 37 e Figura 34b), os resultados mostraram diferenças entre os tratamentos, onde o SD1 foi superior, com 12 e 13%, aos tratamentos SD4 e SD5, na camada superficial (0-2,5 cm), respectivamente. O mesmo comportamento pode ser observado na camada de 2,5-5 cm, com 10 e 14% superior aos tratamentos SD4 e SD5.

Andrade et al. (2010) também encontraram diferenças entre os sistemas de manejo em sucessão de cultivo (semeadura direta e preparo convencional), justificando os valores distintos aqui apresentados entre os sistemas com histórico de semeadura direta (SD1) e preparo convencional (SD4 e SD5). Na média geral da pesquisa, houve pequena redução entre as épocas, como é mostrado na Figura 34c, com cerca de 10%.

6.7.6 Valores de resistência do solo à penetração mecânica

A resistência do solo à penetração (RP) apresentou valores entre 193 e 2373 kPa (Tabela 36), não diferindo entre os tratamentos, com aumento progressivo, valores de 380, 613, 1183, 1943, e 2107 kPa nas diversas camadas, de cima para baixo. Na Figura 35a, está apresentado graficamente o comportamento de cada tratamento no início desta pesquisa, em relação ao RP, as análises não se repetiram no final da pesquisa pelo fato do aparelho estar em manutenção. De acordo com Bengough & Mullins (1990) a $RP > 2000$ kPa é considerada crítica para o desenvolvimento das raízes da maioria das plantas cultivadas. No entanto, o preparo do solo nos tratamentos SD3, SD4 e SD5 e os sistemas conservacionistas SD1 e SD2 não modificaram a RP, sugerindo que não houve restrições ao desenvolvimento das plantas, corroborando com os resultados de Andrade et al. (2010). Estes autores trabalharam no mesmo solo sob sistemas de manejo e preparo do solo. Valores de RP muito baixos foram encontrados por Bertol et al. (2001), para o PC, o que, conforme os autores, foi explicado pelo revolvimento do solo na superfície que diminuiu a densidade do solo e aumentou o volume de macroporos.

Figura 35 - Resistência à penetração do solo (RP) no início (a), no final (b), em todos os tratamentos, e média dos tratamentos no início e final da pesquisa (c), nas cinco camadas avaliadas para um Cambissolo Húmico em Lages SC.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

Tabela 36 - Resultados da densidade do solo (Ds), porosidade do solo distribuída em poros totais Pt, bioporos Bio, macroporos Ma, e micro poros Mi, diâmetro médio ponderado dos agregados DMP, grau de floculação das argilas GF, e resistência do solo a penetração RP, logo após a instalação da pesquisa em 2015, em cinco camadas para um Cambissolo Húmico em Lages SC.

Trat.	Ds -kg dm ⁻³ -	Pt	Bio -%-	Ma	Mi	DMP --mm--	G. F. --%--	R. P. --kPa--
-----Camada 0,0 a 2,5 cm-----								
SD1	0,85 b	67,1 a	12,4 a	14,2 a	40,5 a	6,15 a	71,12 a	379 a
SD2	1,06 ab	60,2 ab	14,5 a	9,8 a	35,8 a	5,99 a	64,48 a	633 a
SD3	0,94 b	62,6 ab	20,2 a	9,3 a	33,1 a	6,20 a	70,25 a	357 a
SD4	1,21 a	57,0 ab	13,5 a	7,4 a	36,1 a	5,70 a	82,63 a	193 a
SD5	1,26 a	50,2 b	8,5 a	7,5 a	34,3 a	2,75 b	93,02 a	339 a
Média	1,1	59,4	13,8	9,7	36,0	5,4	76,3	380
C.V.	5,86	6,16	25,04	20,72	8,93	11,39	14,03	39,37
-----Camada 2,5 a 5,0 cm-----								
SD1	1,19 a	57,9 a	6,3 a	8,6 a	43,0 a	6,16 a	60,50 a	606 a
SD2	1,22 a	56,5 a	9,7 a	7,7 a	39,2 a	6,23 a	57,51 a	830 a
SD3	1,12 a	60,2 a	12,0 a	9,3 a	37,9 a	6,15 a	64,01 a	582 a
SD4	1,32 a	54,0 ab	6,2 a	5,5 a	42,2 a	5,93 a	76,45 a	390 a
SD5	1,35 a	48,1 b	6,0 a	6,3 a	35,7 a	2,77 b	89,26 a	658 a
Média	1,2	55,3	8,5	7,2	39,6	5,5	69,5	613
C.V.	5,64	3,52	43,49	20,56	9,24	6,08	20,88	21,41
-----Camada 5,0 a 10,0 cm-----								
SD1	1,34 a	52,9 a	3,0 a	5,9 a	44,0 a	6,05 a	60,71 a	1209 a
SD2	1,25 a	53,9 a	8,8 a	4,8 a	40,4 a	6,29 a	50,09 a	1275 a
SD3	1,31 a	53,8 a	5,4 a	5,7 a	42,6 a	6,19 a	54,55 a	1060 a
SD4	1,36 a	51,1 a	4,4 a	4,9 a	41,7 a	6,04 a	62,71 a	1081 a
SD5	1,39 a	43,9 b	2,7 a	4,5 a	36,7 a	1,93 b	55,60 a	1289 a
Média	1,3	51,1	4,9	5,2	41,1	5,3	56,7	1183
C.V.	4,69	3,44	55,02	25,47	4,65	2,92	23,5	20,93
-----Camada 10,0 a 20,0 cm-----								
SD1	1,37 a	51,1 a	2,6 a	4,8 a	43,6 a	6,17 a	58,67 a	1808 a
SD2	1,32 a	54,9 a	7,8 a	4,5 a	40,1 a	6,15 a	59,98 a	1775 a
SD3	1,44 a	48,2 a	6,4 a	4,5 a	38,8 a	6,29 a	59,75 a	1951 a
SD4	1,39 a	50,3 a	3,9 a	3,1 a	43,2 a	5,91 a	53,63 a	2163 a
SD5	1,37 a	50,2 a	2,5 a	2,6 a	45,1 a	3,75 b	53,11 a	2016 a
Média	1,4	50,9	4,9	3,9	42,2	5,7	57,0	1943
C.V.	5,33	7,37	39,33	26,36	5,77	9,02	24,56	14,28
-----Camada 20,0 a 40,0 cm-----								
SD1	1,32 ab	51,0 a	4,2 a	4,0 a	42,8 a	6,19 a	61,84 a	1864 a
SD2	1,37 ab	50,8 a	4,7 a	4,4 a	41,8 a	6,00 a	63,73 a	1805 a
SD3	1,35 ab	48,6 a	3,1 a	3,3 a	42,2 a	5,43 a	65,97 a	2354 a
SD4	1,42 a	50,2 a	3,0 a	2,8 a	44,5 a	5,31 a	54,06 a	2373 a
SD5	1,30 b	51,5 a	2,2 a	2,8 a	46,5 a	5,49 a	56,96 a	2124 a
Média	1,4	50,5	3,4	3,5	43,6	5,7	62,5	2107
C.V.	2,27	4,12	28,83	14,03	5,12	7,35	22,35	12,54

Nota: Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey (5%).

Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

Tabela 37 - Resultados da densidade do solo (Ds), porosidade do solo distribuída em poros totais Pt, bioporos Bio, macro poros Ma, e micro poros Mi, diâmetro médio ponderado dos agregados DMP, grau de floculação das argilas GF, e resistência do solo a penetração RP, ao final da pesquisa em 2018 (3 anos após o início), em cinco camadas para um Cambissolo Húmico em Lages SC.

Trat.	Ds -kg dm ⁻³ -	Pt	Bio %	Ma	Mi	DMP --mm--	G. F. --%--	R. P. --kPa--
Camada 0,0 a 2,5 cm								
SD1	0,93 b	70,9 a	9,2 ab	15,1 a	46,7 a	6,16 a	68,94 a	
SD2	1,10 ab	64,1 abc	8,6 ab	10,4 ab	45,1 a	6,09 a	63,79 ab	
SD3	1,04 b	65,7 ab	14,6 a	9,1 ab	42,0 ab	6,11 a	61,74 ab	
SD4	1,07 ab	58,0 bc	13,6 a	5,5 b	39,8 b	6,12 a	56,76 b	
SD5	1,29 a	55,2 c	5,8 b	7,7 b	41,7 ab	6,07 a	55,81 b	
Média	1,1	62,9	10,4	9,6	43,1	6,1	61,4	
C.V.	9,72	6,59	22,18	19,41	6,64	2,13	6,74	
Camada 2,5 a 5,0 cm								
SD1	1,20 ab	58,5 a	4,5 a	5,6 ab	48,5 a	5,96 a	65,19 a	
SD2	1,17 ab	60,2 a	6,4 a	8,7 a	44,9 ab	6,11 a	57,19 bc	
SD3	1,06 b	59,3 a	13,0 a	5,0 ab	41,2 b	6,12 a	59,09 ab	
SD4	1,21 ab	56,7 a	10,0 a	4,3 b	42,4 b	6,13 a	55,18 bc	
SD5	1,28 a	54,5 a	5,2 a	5,7 ab	43,7 ab	5,91 a	51,19 c	
Média	1,2	57,8	7,8	5,9	44,1	6,1	57,6	
C.V.	7	5,25	30,85	18,46	7,73	4,8	4,92	
Camada 5,0 a 10,0 cm								
SD1	1,33 a	53,5 ab	5,1 b	3,8 a	45,6 a	6,24 a	50,03 a	
SD2	1,20 b	58,7 a	5,6 a	7,9 a	45,3 ab	6,20 a	56,74 a	
SD3	1,13 b	53,2 ab	5,5 a	5,8 a	41,9 b	6,22 a	49,48 a	
SD4	1,36 a	53,2 ab	5,0 ab	2,4 a	45,8 a	6,17 a	53,60 a	
SD5	1,36 a	51,1 b	4,7 ab	3,4 a	44,9 ab	4,98 b	53,46 a	
Média	1,2	53,9	5,2	4,7	44,7	6	52,7	
C.V.	4,65	5,93	26,65	11,84	4,57	3,53	8,67	
Camada 10,0 a 20,0 cm								
SD1	1,34 a	52,8 a	2,2 a	4,1 a	46,6 a	6,19 a	51,75 a	
SD2	1,31 a	54,6 a	5,7 a	3,4 ab	46,5 a	6,20 a	56,80 a	
SD3	1,31 a	52,0 a	3,2 a	2,5 b	47,0 a	6,19 a	53,24 a	
SD4	1,33 a	50,4 a	2,9 a	2,5 ab	45,0 a	6,13 a	55,11 a	
SD5	1,35 a	50,2 a	3,4 a	2,2 ab	45,6 a	5,05 b	52,88 a	
Média	1,3	52	3,5	2,9	46,1	6	54	
C.V.	7,52	4,41	28,5	14,71	6,13	1,97	11,21	
Camada 20,0 a 40,0 cm								
SD1	1,31 a	52,6 a	4,2 a	5,4 a	43,0 a	6,00 a	60,59 a	
SD2	1,35 a	52,0 a	4,6 a	5,5 a	42,0 a	6,11 a	55,20 ab	
SD3	1,35 a	52,9 a	4,7 a	5,4 a	42,8 a	5,69 a	52,27 ab	
SD4	1,35 a	51,0 a	2,9 a	2,0 b	46,3 a	5,73 a	50,19 b	
SD5	1,29 a	55,6 a	2,7 a	2,9 b	49,4 a	5,28 b	47,16 b	
Média	1,3	52,8	3,8	4,2	44,7	5,8	53,1	
C.V.	4,43	6,73	36,75	14,58	8,74	7,82	8,65	

Nota: Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey (5%).

Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

6.9 PRODUÇÃO DAS CULTURAS

6.9.1 Produção das culturas no período de outono/inverno

A produção de massa seca (MS) da parte aérea das culturas de outono/inverno diminuiu ao longo do período de tempo da pesquisa (Tabela 38), com média de 7875, 5870 e 4924 kg ha⁻¹, para os anos de 2015, 2016 e 2017, respectivamente. No ano de 2015 não houve diferença entre os tratamentos, no entanto, o SD1 produziu 2548 kg a mais de MS do que o SD5. Já no ano de 2016, estes mesmos tratamentos apresentaram diferença ($p<0,05$), de modo que o SD1 produziu 2730 kg ha⁻¹ a mais o SD5. Da mesma forma o tratamento SD2 diferiu do SD5, com uma diferença de 2141 kg ha⁻¹ na MS produzida.

O terceiro cultivo de outono/inverno seguiu o mesmo comportamento em relação ao anterior entre os tratamentos SD1 e SD5, com uma diferença de 2638 kg ha⁻¹ de MS. De maneira geral, percebeu-se um padrão de semelhança entre os tratamentos nos três anos de avaliação, mesmo que os valores absolutos tenham diminuído ao longo do período da pesquisa, mantendo-se a diferença em torno de 2600 kg ha⁻¹ entre os tratamentos. Estes valores refletiram o efeito residual de uso da terra; mesmo com a reposição da fertilidade e correção da acidez para condições semelhantes à testemunha (SD1), houve baixa resposta quanto a produção de MS.

De maneira geral, nos tratamentos com histórico de manejo conservacionista (SD1, SD2 e SD3), a produção de MS do consórcio de plantas esteve de acordo com o esperado para o solo e clima da região de estudo. Wolschick et al. (2016) obtiveram uma produção de MS acima de 9 t ha⁻¹, com o mesmo consórcio proposto nesta pesquisa, onde as culturas tiveram atendidas as suas necessidades de fertilizantes, para alto rendimento de MS.

A produção de MS de raízes (Tabela 38) apresentou valores entre 894 e 2038 kg ha⁻¹, onde o tratamento SD3 produziu 2 t ha⁻¹, 50 e 56% a mais em relação aos tratamentos historicamente convencionais, com e sem cobertura, SD4 e SD5, respectivamente. No entanto, os tratamentos não apresentaram diferença, justificado pelo elevado valor do coeficiente de variação de 50%. No entanto, os valores aqui apresentados foram inferiores aos apresentados por Wolschick et al. (2016), para o mesmo consórcio e solo.

De maneira geral, analisando os três anos de condução da pesquisa, a mudança no uso da terra e manejo do solo afetou a produção de MS das plantas de cobertura no período de outono/inverno. No entanto, estratégias de cobertura do solo no inverno, que utilizem consórcios, são mais eficientes em relação aos cultivos solteiros, do ponto de vista de relação

C/N. Estes promovem redução na produtividade de grãos de milho em sucessão quando não se utiliza a adubação nitrogenada mineral (WOLSCHICK et al. 2018c; CHERUBIN et al. 2014).

Tabela 38 - Massa seca da parte aérea e das raízes produzidas pelas culturas de ervilhaca, nabo forrageiro e aveia preta nos tratamentos entre os anos de 2015 e 2018 no Cambissolo Húmico em Lages SC.

Tratamentos	2015	2016	2017	2016
	-----MS aérea-----			----MS raiz----
	-----kg ha ⁻¹ -----			
SD1	8361 a	7049 a	5520 a	1732 a
SD2	6264 a	6460 a	5694 a	1540 a
SD3	7793 a	6200 ab	5764 a	2038 a
SD4	7146 a	5322 ab	4757 ab	996 a
SD5	5813 a	4319 b	2882 b	894 a
Média	7875	5870	4924	1440
C. V.%	18,73	13,23	16,88	49,73

Nota: (SD1) semeadura direta consolidada, com manejo anterior também sob semeadura direta, constituindo a testemunha; (SD2) semeadura direta implantada após rotação de preparos; (SD3) semeadura direta implantada após preparo reduzido; (SD4) semeadura direta implantada após preparo convencional do solo; e (SD5) semeadura direta implantada sob solo descoberto e sem cultivo. Médias seguidas pela mesma letra na coluna em cada camada não diferem entre si pelo teste de Tukey com 5% de significância.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

6.8.2 Produção das culturas no período de primavera/verão

A população de plantas de milho não apresentou diferença entre os tratamentos, para os três cultivos. As médias dos tratamentos foram de 67.126, 72.241 e 68.046 plantas por hectare, para os cultivos das safras 2015/16, 2016/17 e 2017/18, respectivamente (Tabela 39).

Para o peso de mil grãos (P1000), houve diferença na safra de 2015/16, na qual o tratamento SD5 foi inferior aos demais, com P1000 inferior em 18%. Nas safras subsequentes, não se observou diferenças pelo teste de médias Tukey. No entanto, em valores absolutos, os tratamentos com histórico conservacionista (SD1, SD2 e SD3), obtiveram, em média, 8% a mais do que aqueles com histórico convencional e solo descoberto (SD4 e SD5).

Tabela 39 - População de plantas, peso de mil grãos (P1000), massa de grãos e massa seca da planta inteira de milho, e massa seca de plantas invasoras nos tratamentos para as safras no Cambissolo Húmico em Lages SC.

Tratamentos	População Pla. ha ⁻¹	P1000 gramas	grãos -----kg ha ⁻¹ -----	Palha
Safra 2015/16				
SD1	68391 a	321,49 a	11649 a	18397 a
SD2	67241 a	325,12 a	11236 a	17316 ab
SD3	67529 a	313,94 a	10377 ab	14737 ab
SD4	66092 a	301,59 a	8769 bc	13990 ab
SD5	66379 a	261,95 b	7608 c	11005 b
Média	67126	304,83	9928	15089
C.V. (%)	1,99	3,15	4,18	11,7
Safra 2016/17				
SD1	69828 a	314,58 a	9090 a	10840 a
SD2	74425 a	334,05 a	10009 a	10008 a
SD3	73851 a	317,75 a	10002 a	10757 a
SD4	72126 a	301,04 a	8370 a	9191 a
SD5	70977 a	296,95 a	6839 a	7463 a
Média	72241	312,87	8862	9652
C.V. (%)	6,02	8,64	29,53	24,82
Safra 2017/18				
SD1	69828 a	282,35 a	8002 a	9343 a
SD2	66954 a	314,88 a	8451 a	8997 a
SD3	67529 a	298,91 a	9624 a	11715 a
SD4	64943 a	252,49 a	5244 a	6059 a
SD5	70977 a	241,78 a	5926 a	6593 a
Média	68046	278,08	7450	8541
C.V. (%)	8,85	7,84	17,24	17,01

Nota: (SD1) semeadura direta consolidada, com manejo anterior também sob semeadura direta, constituindo a testemunha; (SD2) semeadura direta implantada após rotação de preparos; (SD3) semeadura direta implantada após preparo reduzido; (SD4) semeadura direta implantada após preparo convencional do solo; e (SD5) semeadura direta implantada sob solo descoberto e sem cultivo. médias seguidas pela mesma letra na coluna em cada camada não diferem entre si pelo teste de Tukey com 5% de significância.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

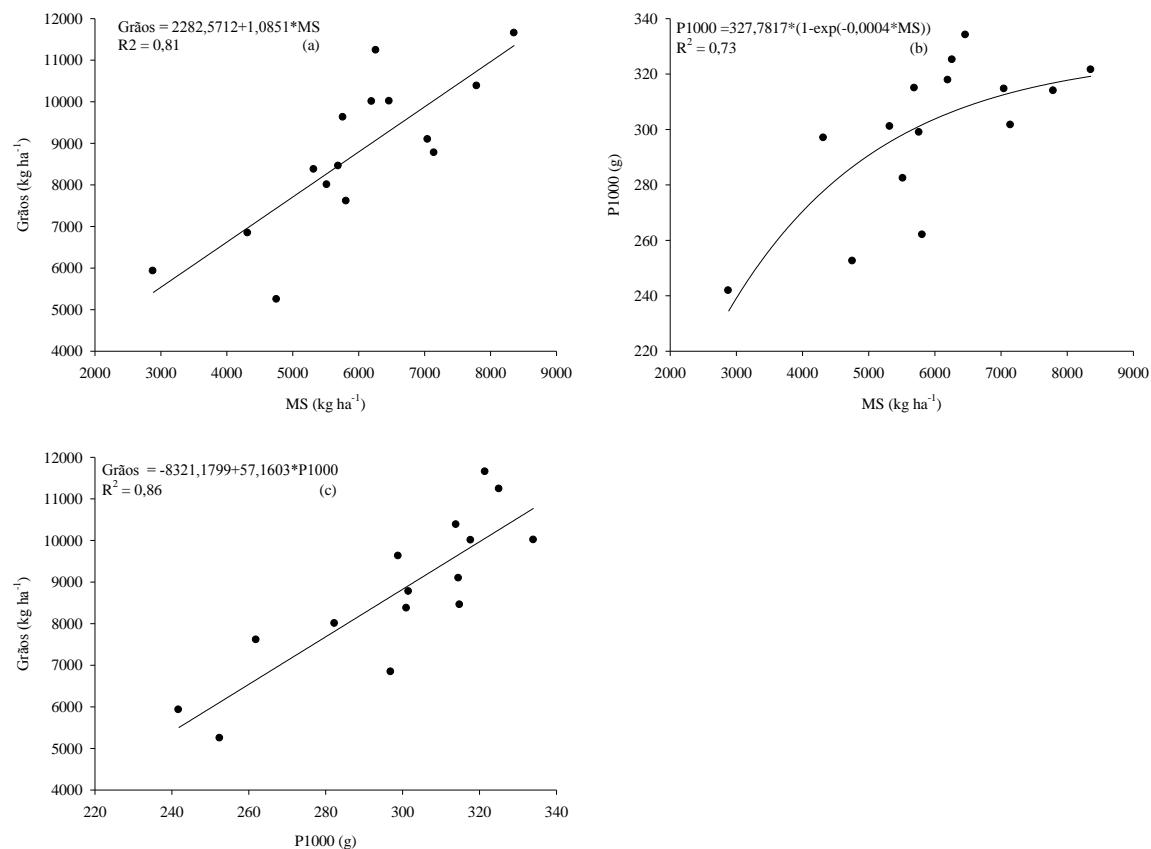
Para a safra de 2017/18, a diferença, em valores absolutos, foi de 17%, para a variável grãos. Apesar de somente a primeira safra apresentar diferença significativa para o P1000, essa variável teve grande influência na produtividade final da cultura do milho, com uma relação direta com a massa de grãos produzidos (Figura 36c), onde o P1000 explicou 86% da produção de grãos do milho. No entanto, na média, os valores apresentados na presente pesquisa foram maiores aos apresentados por Wolschick et al. (2016), num mesmo consórcio, porém sem adubação para a cultura do milho.

A produção de grãos de milho diferiu na safra de 2015/16 dos tratamentos SD4 e SD5 para os tratamentos SD1 e SD2, com uma diferença, em média, de 28%. Isto representou uma

produtividade de 3254 kg ha⁻¹ maior nos sistemas com histórico conservacionista em relação aos com histórico convencional. No entanto, nas safras seguintes, não houve diferença entre esses tratamentos, porém, em valores absolutos, os tratamentos com histórico conservacionista produziram, em média, 2093 e 3107 kg ha⁻¹ a mais nas safras 2016/17 e 2017/18, em relação aos sistemas com histórico convencional.

Os resultados de produção de grãos de milho foram satisfatórios para a região de Lages, com média de 8,7 toneladas hectare nos três anos de cultivo, corroborando com os resultados apresentados por Sangoi et al. (2006), para manejos de alta produtividade. Já Wolschick et al. (2018c), avaliaram o consórcio aqui proposto, salvo, sem adubação da cultura do milho, no qual a produtividade foi próxima a 6 t ha⁻¹.

Figura 36 - Relação entre a produção de massa seca das plantas de cobertura (MS) e a produção de grãos de milho (a), e produção de massa seca das plantas de cobertura (MS) e o peso de mil grãos de milho (P1000) nos três anos de avaliação no Cambissolo para Lages – SC.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

Isso mostra a eficiência do consórcio na produtividade de milho em sucessão, principalmente pela disponibilidade de N, proporcionado pela fixação biológica da cultura da ervilhaca comum. Resultados semelhantes foram apresentados por Cherubin et al. (2014) e

Silva et al. (2007). Cherubin et al. (2014) destacaram que o consórcio de ervilhaca comum ou de nabo forrageiro com aveia preta, é um dos melhores para minimizar o efeito do cultivo isolado de aveia preta na produtividade de grãos do milho em sucessão.

A produção de MS das plantas de milho seguiu o mesmo comportamento da produção de grãos, com diferença somente na safra 2015/16 (Tabela 39). Somente entre os tratamentos SD1 e SD5 houve diferença. As demais safras seguiram a mesma tendência que foi observada para a produtividade de grãos de milho. A relação média dos tratamentos, entre MS da parte aérea e grãos foi de 1,51, 1,09 e 1,14, para as três safras, respectivamente.

A altura de planta (Tabela 40) apresentou diferença na safra 2015/16, onde o tratamento SD5 diferiu da testemunha (SD1) e do tratamento SD3. Na safra 2017/18, os tratamentos com histórico de manejo conservacionista (SD1, SD2 e SD3) diferiram dos tratamentos com histórico de manejo convencional (SD4 e SD5), onde, em média, SD1, SD2 e SD3 apresentaram 37 cm a mais, quando comparado aos tratamentos SD4 e SD5. De acordo com Silva et al. (2006), a altura da planta determina o grau de desenvolvimento da cultura, correlacionando positivamente com a produtividade, portanto, plantas maiores são mais produtivas, devido ao menor estresse durante o seu desenvolvimento, acumulando assim, maiores quantidades de reservas no colmo. Isso se refletiu nas demais variáveis avaliadas, como na altura de inserção da espiga na safra 2017/18, e nas variáveis comprimento e diâmetro da espiga, e no número de grãos por fileira, na mesma safra. O número de grãos por fileira também diferiu entre os tratamentos com histórico conservacionista dos convencionais, na primeira safra, segundo a tendência da altura da planta inteira.

A variável diâmetro de colmo não apresentou diferença entre os tratamentos avaliados nesta pesquisa, com média de 2,43, 2,10, e 2 cm, nas safras 2015/16, 2016/17 e 2017/18, respectivamente. Essa variável é mais dependente do fator genótipo, do que do manejo anterior. O mesmo se refletiu na variável “número de fileiras de grãos”, com valores distintos entre as safras, pelos distintos híbridos utilizados. Já as variáveis, comprimento da espiga e número de grãos por fileira, tiveram uma relação numérica direta, sendo que o comprimento da espiga definiu o número de grãos em cada fileira, na safra 2017/18, essa relação, com diferença significativa.

Tabela 40 - Altura das plantas, altura de inserção das espigas, diâmetro do colmo e espigas, comprimento, o numero de fileiras de grãos e numero de grãos por fileira da espiga de milho nos tratamentos para a safra de 2015/2016, no Cambissolo Húmico em Lages SC.

Tratamentos	Altura planta	Altura espiga	Diâmetro colmo	Comp. espiga	Diâmetro espiga	N. fileira grãos	N. grãos fileira
	cm-----				-----Número-----		
-----Safra 2015/16-----							
SD1	268,5 a	167,65 a	2,54 a	16,85 a	4,897 a	17 a	31 a
SD2	267,0 ab	163,55 a	2,35 a	15,63 a	4,570 a	18 a	29 a
SD3	268,5 a	177,25 a	2,53 a	16,10 a	4,625 a	17 a	29 a
SD4	255,0 ab	177,15 a	2,27 a	14,84 a	4,522 a	18 a	25 b
SD5	253,0 b	162,40 a	2,47 a	16,75 a	4,442 a	17 a	26 b
Média	262,4	169,6	2,43	16,03	4,611	17	27,8
C.V. (%)	1,40	3,92	4,48	6,32	3,58	3,17	1,98
-----Safra 2016/17-----							
SD1	118,5 a	127,30 ab	1,98 a	15,40 a	4,39 a	14 a	27 a
SD2	206,6 a	127,15 ab	2,17 a	15,49 a	4,42 a	14 a	28 a
SD3	205,0 a	136,10 a	2,32 a	15,21 a	4,45 a	16 a	27 a
SD4	191,1 a	114,30b	2,24 a	14,51 a	3,98 a	15 a	27 a
SD5	161,2 a	92,50 c	1,81 a	14,69 a	4,14 a	14 a	23 a
Média	176,5	119,57	2,10	15,06	4,28	15	26
C.V. (%)	34,51	4,47	9,98	9,91	4,31	3,03	15,79
-----Safra 2017/18-----							
SD1	246,3 a	113,2 a	2,13 a	16,5 abc	4,6 ab	14 a	30 ab
SD2	241,0 a	120,1 a	1,91 a	16,9 ab	4,6 ab	14 a	31 ab
SD3	246,5 a	116,6 a	2,14 a	17,7 a	4,8 a	14 a	33 a
SD4	215,3 b	97,6 b	1,92 a	14,9 c	4,2 c	14 a	27 b
SD5	198,5 b	82,6 c	1,94 a	15,8 bc	4,3 bc	14 a	27 b
Médias	229,5	106	2	16,34	4,507	14	29,5
C.V. (%)	12,56	13,94	12,8	12,77	8,25	8,61	18,32

Nota: (SD1) semeadura direta consolidada, com manejo anterior também sob semeadura direta, constituindo a testemunha; (SD2) semeadura direta implantada após rotação de preparos; (SD3) semeadura direta implantada após preparo reduzido; (SD4) semeadura direta implantada após preparo convencional do solo; e (SD5) semeadura direta implantada sob solo descoberto e sem cultivo. Teste de normalidade por Shapiro-Wilk, médias seguidas pela mesma letra na coluna em cada camada não diferem entre si pelo teste de Tukey com 5% de significância.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

No contexto geral das variáveis relacionadas à MS das plantas de cobertura, e da cultura do milho em sucessão, estes resultados evidenciaram que o consórcio é uma das estratégias que podem ser usadas para minimizar o efeito prejudicial que os cultivos isolados e/ou lavouras em pousio exercem sobre a produtividade de grãos do milho. As Poáceas e as Brassicaceae atuam na ciclagem de N mineral do solo, reduzindo os riscos de lixiviação, enquanto as leguminosas adicionam N pela fixação biológica, contribuindo para o aumento da disponibilidade para as culturas em sucessão (AMADO et al., 2002). Conforme Wolschick et al. (2016), a ervilhaca comum e o consórcio são mais eficientes em acumular nutrientes no

tecido vegetal, em relação aos cultivos solteiros de aveia e nabo, refletindo na mesma magnitude, na produtividade do milho, cultivado em sucessão (WOLSCHICK et al. 2018c).

6.10 AVALIAÇÃO DOS CUSTOS DE PRODUÇÃO DAS CULTURAS E DE RECUPERAÇÃO QUÍMICA DO SOLO

O custo de implantação da cultura do milho para as três safras foi de R\$ 4015,66; 4100,34 e 3752,17, para as safras 2015/16, 2016/17 e 2017/18, respectivamente. A pequena diferença entre as safras está relacionada aos preços dos insumos praticados em cada safra, baseados em tabelas das cotações de commodities agrícolas e da CONAB. A margem bruta variou numericamente entre os tratamentos, e safras avaliados nessa pesquisa. Esta depende da produtividade de cada tratamento, e do preço praticado na comercialização da saca de milho (60 kg), tendo relação direta com o rendimento em cada tratamento, os quais são apresentados na Tabela 39. Na safra de 2015/16 este valor ficou em R\$ 7176,40, na média dos tratamentos, sendo o tratamento SD1, com R\$ 8420,61, e o tratamento SD5, com R\$ 5499,79, considerando-se o preço da saca de milho 60 kg de R\$ 43,37. Essa mesma tendência foi observada nas demais safras.

Tabela 41 - Planilha de custo da implantação e receita bruta e líquida observados nas safras de 2015/16, 2016/17 e 2017/18, no Cambissolo Húmico em Lages SC.

Trat.	2015/16			2016/17			2017/18		
	Custo	Margem Bruta	Margem Líquida	Custo	Margem Bruta	Margem Líquida	Custo	Margem Bruta	Margem Líquida
(R\$)									
SD1	4015,66	8420,61	4404,95	4100,34	4600,89	500,54	3752,17	4934,43	1182,25
SD2	4015,66	8121,75	4106,09	4100,34	5066,44	966,09	3752,17	5211,37	1459,19
SD3	4015,66	7500,86	3485,19	4100,34	5062,87	962,52	3752,17	5935,03	2182,86
SD4	4015,66	6338,97	2323,31	4100,34	4236,38	136,04	3752,17	3234,08	-518,09
SD5	4015,66	5499,79	1484,12	4100,34	3461,93	-638,42	3752,17	3654,20	-97,97
Média	4015,66	7176,40	3160,73	4100,34	4485,70	385,36	3752,17	4593,82	4015,66

Nota: Cambio dólar fonte Banco Central US\$ 1,00 = R\$ 3,85, em 29/06/2018. (SD1) semeadura direta consolidada, com manejo anterior também sob semeadura direta, constituindo a testemunha; (SD2) semeadura direta implantada após rotação de preparos; (SD3) semeadura direta implantada após preparo reduzido; (SD4) semeadura direta implantada após preparo convencional do solo; e (SD5) semeadura direta implantada sob solo descoberto e sem cultivo.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

Quando observamos os valores da receita líquida entre os tratamentos e safras, percebe-se, valores mais elevados nos sistemas historicamente conservacionistas (SD1, SD2 e SD3), em relação aqueles, apresentados pelos tratamentos historicamente convencionais (SD4 e SD5). Nos valores monetários apresentados na Tabela 41, observam-se valores negativos nas safras 2016/17, no tratamento SD5, e na safra 2017/18, nos tratamentos SD4 e SD5. Em

relação ao custo de recuperação dos tratamentos apresentados na Tabela 42, nota-se que quanto mais degradado o solo, maior é o custo de recuperação monetária, reflexo do uso de corretivos e fertilizantes (Tabela 5). Ao amortizar o custo de recuperação de cada tratamento, da margem líquida das três safras, houve uma perda monetária para o tratamento SD5 de R\$ 926,27, no período desta pesquisa. Na média das três safras, esta perda ficou em R\$ 308,76. Isto reflete o uso anterior da terra do referido tratamento, o qual era mantido descoberto e sem cultivo, durante 27 anos.

Estes resultados demonstram que após três safras, o tratamento SD5, mostrou-se economicamente inviável, representando um prejuízo monetário de R\$ 308,76, na média das três safras (Tabela 42). Mesma tendência do tratamento SD4, o qual, na safra 2017/18, obteve uma perda monetária de R\$ 518,09.

Tabela 42 - Planilha de custo de recuperação química do solo e margem líquida da cultura do milho nos tratamentos, na média das safras de 2015/16, 2016/17 e 2017/18, no Cambissolo Húmico em Lages SC.

Trat.	2015 Custo recuperação	Margem Líquida		
		Soma 3 safras (R\$)	Total – Custo	Média/ano
SD1	884,57	6087,74	5203,18	1734,39
SD2	434,09	6531,38	6097,28	2032,43
SD3	606,66	6630,58	6023,92	2007,97
SD4	1094,31	1941,26	846,95	282,32
SD5	1674,00	747,73	-926,27	-308,76
Média	938,72	4387,74	3449,01	1149,67

Nota: Cambio dólar fonte Banco Central US\$ 1,00 = R\$ 3,85, em 29/06/2018. (SD1) semeadura direta consolidada, com manejo anterior também sob semeadura direta, constituindo a testemunha; (SD2) semeadura direta implantada após rotação de preparos; (SD3) semeadura direta implantada após preparo reduzido; (SD4) semeadura direta implantada após preparo convencional do solo; e (SD5) semeadura direta implantada sob solo descoberto e sem cultivo.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

A conversão do preparo convencional em semeadura direta acarreta na diminuição do retorno financeiro no cultivo do milho, resultado de sua produtividade, bem como do desenvolvimento radicular, o qual foi influenciado pelas características físicas do solo, onde os sistemas com histórico conservacionista produziram uma massa de raízes da cultura de inverno, maior em relação aos tratamentos convencionais.

7 CONCLUSÕES

A mudança de uso da terra e manejo do solo proporcionou a manutenção dos resíduos culturais na superfície do solo, reduzindo expressivamente as perdas de solo já no primeiro ano de cultivo e mantendo-se essa redução gradualmente no tempo; as perdas de água foram pouco influenciadas.

A conversão de uso da terra e manejo do solo melhorou significativamente as características químicas do solo, porém de forma menos expressiva nas características físicas do solo após três anos, sendo necessário um período de tempo maior de condução da pesquisa para detectar mudança expressiva nesta variável de solo.

No início da pesquisa houve taxa de enriquecimento para os nutrientes P, K e Ca, enquanto, no final da pesquisa somente o K apresentou taxa de enriquecimento em todos os tratamentos e o Ca nos tratamentos SD2, SD4 e SD5.

A mudança de uso da terra e manejo do solo aumentou as perdas de nutrientes na água de modo mais expressivo do que as perdas nos sedimentos.

Após três anos de mudança do uso da terra e manejo do solo observa-se baixo incremento no teor de carbono orgânico do solo.

A mudança do uso da terra e manejo do solo não influenciou a produtividade da cultura de milho, resultando em prejuízo econômico na média de três ciclos de cultivo nos tratamentos com histórico convencional.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, J. A. et al. Propriedades químicas de um Cambissolo Húmico sob preparo convencional e semeadura direta após seis anos de cultivo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29 p. 437-445, 2005.
- ALBUQUERQUE, A. W. et al. Manejo da cobertura do solo e de práticas conservacionistas nas perdas de solo e água em Sumé, PB. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 6, n. 1, p. 136-141, 2002.
- AMADO, T. J. C.; MIELNICZUK, J.; AITA, C. Recomendação de adubação nitrogenada para o milho no RS e SC adaptada ao uso de culturas de cobertura de solo, sob sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, n. 1, p. 241–248, 2002.
- AMARAL, A.J. et al. 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. 2145-55, 2008.
- ANDRADE, A.P. et al. Physical properties of a humic cambisol under tillage and cropping systems after twelve years. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, p. 219-226, 2010.
- ANDRADE, A. P. et al. Atributos químicos de um Cambissolo Húmico após 12 anos sob preparo convencional e semeadura direta em rotação e sucessão de culturas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.42, n.5, p.814-821, maio, 2012.
- BAGIO, B. et al. Water Erosion in Different Slope Lengths on Bare Soil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 41, e0160132, 2017.
- BANDEIRA, D. H.; **Sistemas de manejo do solo sob aplicação de dejeto líquido de suínos: propriedades físicas e químicas do solo e erosão hídrica**. 2015. 138 p. Dissertação (Mestrado)-Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências Agroveterinárias, Mestrado em Ciência do Solo, Lages, 2015.
- BARBOSA, F.T. et al. Proporção e tamanho de sedimentos e teor de carbono orgânico na enxurrada e no solo para dois cultivos e duas formas de semeadura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, p. 1.701-1.710, 2010.

BARBOSA, F.T. et al. Phosphorus losses in water and sediments in runoff of the water erosion in oat and vetch crops seed in contour and downhill. **Soil & Tillage Research** [S.l.]. v. 106, p. 22–28, 2009.

BARBOSA, N. C. et al. Distribuição vertical do fósforo no solo em função dos modos de aplicação. **Bioscience Journal Uberlândia**, Uberlândia, v. 31, n. 1, p. 87-95, Jan./Feb. 2015.

BARETTA, D. et al. Análise multivariada da fauna edáfica em diferentes sistemas de preparo e cultivo do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, p. 1675-1679, 2006.

BAVER, L.D.; GARDNER, W.H.; GARDNER, W.R. Soil Water - The Field Moisture Regime. In: **SoilPhysics**. 4. ed. Londres: John Willey, cap.10, p. 353-393, 1972.

BAYER, C.; & BERTOL, I. Características químicas de um Cambissolo Húmico afetadas por sistemas de preparo, com ênfase à matéria orgânica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, p. 687-694, 1999.

BERNARDI, L. et al. Determinação de padrões de precipitação para as chuvas de Lages (SC). **I Simpósio de Integração da Pós-Graduação Ciência, Tecnologia e Inovação**, 2018.

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

BERTOL, I.; ALMEIDA, J.A. Tolerância de perda de solo por erosão para os principais solos do estado de Santa Catarina. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, p. 657-668, 2000.

BERTOL, I. et al. Propriedades físicas de um Cambissolo Húmico afetadas pelo tipo de manejo do solo. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 58, p. 555-560, 2001.

BERTOL, I. et al. Erosividade das chuvas e sua distribuição entre 1989 e 1998 no município de Lages (SC). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, p. 455-464, 2002.

BERTOL, I. et al. Propriedades físicas do solo sob preparo convencional e semeadura direta em rotação e sucessão de culturas, comparadas às do campo nativo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, p. 155-163, 2004.

BERTOL, I.; GONZÁLEZ, A. P.; E VÁZQUEZ, E. V. Rugosidade superficial do solo sob diferentes doses de resíduo de milho submetido à chuva simulada. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, DF, v.42, n.1, p.103-110, jan. 2007a.

BERTOL, I. et al. Aspectos financeiros relacionados às perdas de nutrientes por erosão hídrica em diferentes sistemas de manejo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, p. 133-142, 2007b.

BERTOL, O. J. et al. Mobilidade De P, Cu E Zn em Colunas de Solo sob Sistema de Semeadura Direta Submetido às Adubações Mineral e Orgânica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, p. 1841-1850, 2010.

BERTOL, I. et al. Erosão hídrica em campo nativo sob diversos manejos: perdas de água e solo e de fósforo, potássio e amônio na água de enxurrada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, p. 1421-1430, 2011.

BERTOL, I. et al Soil water erosion under different cultivation systems and different fertilization rates and forms over 10 years. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 38, n. 6, p. 1918-1928, 2014.

BERTOL, I. et al. Water infiltration in two cultivated soils in Southern Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 39, p. 573-88, 2015.

BERTOL, I. et al. Nutrient and Organic Carbon Losses, Enrichment Rate, and Cost of Water Erosion. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 4, 1e0160150, 2017.

BEUTLER, J.F. **Erosão hídrica num Latossolo Vermelho aluminoférreico submetido a diferentes sistemas de preparo e cultivo do solo.** 2000. 105 p. Dissertação (Mestrado)-Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências Agroveterinárias, Mestrado em Ciência do Solo, Lages, 2000.

CABEDA, M.S.V. Computationsofstorms EI values. West Lafayette, PurdueUniversity, 1976. 6p. **(No prelo)**

CAVALIERI, K.M.V., SILVA, A.P., TORMENA, C.A., LEÃO, T.P., DEXTER, A.R., HAKANSSON, I. Long-term effects of no-tillage on dynamic soil physical properties in a Rhodic Ferrasol in Paraná, Brazil. **Soil & Tillage Research**, [S.l.]. v.103, p.158–164, 2009.

CEPEA, ESALQ – USP. **Preços agropecuários**. Disponível em:
<https://www.cepea.esalq.usp.br/consultas-ao-banco-de-dados-do-site.aspx>
 Acesso em 30 jul. 2018

CHERUBIN, M. R. et al. Desempenho agronômico do milho em sucessão a espécies de cobertura do solo sob sistema plantio direto no sul do Brasil. **Global Science Technology**, Rio Verde, v. 07, n. 01, p.76 – 85, jan/abr. 2014.

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 (1^a 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.

COGO, N.P. LEVIEN, R.; VOLK, L.B.S., Indicadores de qualidade do solo: aspectos relacionados á erosão hídrica pluvial e à mecanização tratorizada. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS DO SOLO, 29. 2003, Ribeirão Preto, SP. **Anais...** Viçosa, MG. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2003, 1 CD-ROM.

CONAB. Companhia nacional de abastecimento. **Insumos agropecuários**. Disponível em: <<http://consultaweb.conab.gov.br/consultas/consultaInsumo.do?method=acaoListarConsulta>> Acesso em: 30 jul. 2018

CONAMA BRASIL. Resolução n. 357, de 17 de março de 2005. **Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para seu enquadramento bem como estabelece condições e padrões de lançamento de efluentes e dá outras providências**. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, DF, 18 mar. 2005.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO. **Manual de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina / Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**. 10. ed.: Porto Alegre, 2004.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO. **Manual de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina / Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**. 11 ed. Porto Alegre, 2016.

COSTA, F.S. et al. Propriedades físicas de um Latossolo Bruno afetadas pelos sistemas plantio direto e preparo convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, p. 527-535, 2003.

COSTA, S. E. V. G. de A. Phosphorus and root distribution and corn growth as related to long-term tillage systems and fertilizer placement. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, n. 5, p. 1237-1247, 2009.

D'ANDRÉA, A.F. et al. Atributos biológicos indicadores da qualidade do solo em sistemas de manejo na região do cerrado no sul do Estado de Goiás. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 2, p. 913- 923, 2002.

DALLA ROSA, J. et al. Processo de formação de crostas superficiais em razão de sistemas de preparo do solo e chuva simulada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 37, p. 400-410, 2013.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3 ed. Brasília, DF. Embrapa, 353p. 2013.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). Centro Nacional de Pesquisa de solos. **Manual de métodos de análises de solo**. Rio de Janeiro, 1997, 212p.

ENGEL, F. L. et al. Soil erosion under simulated rainfall in relation to phenological stages of soybeans and tillage methods in Lages, SC, Brazil. **Soil Tillage Reserch**, [S.I.]. v. 103, p. 216-221, 2009.

ENSINAS, S. C. et al. Atributos químicos, carbono e nitrogênio total em Latossolo submetido a diferentes sistemas de uso do solo. **Global Science Technology**, Rio Verde, v. 07, n. 02, p. 24 – 36, maio/ago. 2014.

FAO -Food and Agriculture Organization. Escassez e degradação dos solos e da água ameaçam segurança alimentar. Roma, 2015. Disponível:
[<https://www.fao.org/edsaasa.asp>](https://www.fao.org/edsaasa.asp)

FLOSS, E.L. Cobertura de inverno visando alto rendimento de culturas de verão. In: ENCONTRO REGIONAL DE PLANTIO DIRETO, 2., 2000, Ijuí. **Resumos...** Passo Fundo, 29-43p. 2000.

FOSTER, G.R. et al. Conversion of the universal soil loss equation to SI metric units. **J. Soil Water Conservation**, [S.I.]. v. 36, p. 355-359, 1981.

FRANCHINI, J. C. et al. Evolution of crop yields in different tillage and cropping systems over two decades in southern Brazil. **Field Crops Research**, [S.I.]. v. 137, p. 178–185, 2012.

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**. 2003. 150. Dissertação (Mestrado)-Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências Agroveterinárias, Mestrado em Ciência do Solo, Lages, 2003.

GUADAGNIN, J. C. et al. Perdas de solo, água e nitrogênio por erosão hídrica em diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, p. 277-286, 2005.

HORNER, W.W. & JENS, S.W. Surface runoff determination from rainfall without using coefficients. **Transactions of the American Society of Civil Engineers**, [S.l.]. v. 107, p. 1039-1117, 1941.

JIMENEZ, R.L. et al. Crescimento de plantas de cobertura sob diferentes níveis de compactação em um Latossolo Vermelho. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande-PB, v. 12, n. 2, p. 116–121, 2008.

KEMPER, W.D.; CHEPIL, W.S. Size distribution of aggregates. In: BLACK, C.A. (ed.) Methods of soil analysis: Physical and mineralogical properties including statistics of measurement and sampling. Madison, **American Society of Agronomy**, Part 1, p. 499-510, 1965.

LANZANOVA, M. E. et al. Residual effect of soil tillage on water erosion from a typic paleudalf under long-term no-tillage and cropping systems. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 37, p. 1689-1698, 2013.

LUCIANO R. V. et al. Perdas de água e solo por erosão hídrica em duas direções de semeadura de aveia e ervilhaca. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, p. 669-676. 2009.

LUCIANO, R. V. et al. Propriedades físicas e carbono orgânico do solo sob plantio direto comparados à mata natural, num Cambissolo Háplico. **Revista de Ciências Agroveterinárias**. Lages, v. 9, n. 1, p. 09-19, 2010a.

LUCIANO, R.V.; ALBUQUERQUE, J.A.; PÉRTILE, P. **Métodos de análises físicas do solo**. Universidade do Estado de Santa Catarina, 2010b, 44 p.

MAZURANA, J. et al. Erosividade, padrões hidrológicos e período de retorno das chuvas erosivas de Santa Rosa (RS). **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. [S.l.]. v. 13, p. 975–983, 2009.

MCISAAC GF et al. Dissolved phosphorus concentrations in runoff from simulated rainfall on corn and soybean tillage systems. **Journal of Soil Water Conservation**, [S.l.]. v. 50, p. 383-387, 1995.

MEHL, H. U. et al. Caracterização de padrões de chuvas ocorrentes em Santa Maria (RS). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, p. 475-483, 2001.

MELO JÚNIOR, H. B.; CAMARGO, R.; WENDLING, B. Sistema de Plantio Direto na Conservação do Solo e Água e Recuperação de Áreas Degradas. **ENCICLOPÉDIA BIOSFERA**, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v. 7, n. 12, 2011.

MURPHY J & RILEY JP. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. **Analyt Chim Acta**, [S.l.]. v. 27, p. 31-36, 1962.

NUNES, R. S. et al. Distribuição de fósforo no solo em razão do sistema de cultivo e manejo da adubação fosfatada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, p. 877-888, 2011.

OLIVEIRA, R. T. et al. Caracterização física dos solos sob diferentes usos. **Revista Agrogeoambiental**, [S.l.]. Abril, 2010.

OLIVEIRA, J.G.R. et al. Perda de Solo e Água e Riscos Ambientais da Concentração de Nutrientes no Escoamento Superficial em Solo Cultivado no Sistema de Plantio Direto e Submetido a Adubações Orgânicas e Mineral. **Revista Brasileira de Geografia Física**, [S.l.]. v. 8, n. 1 p. 093-112, 2015.

PANACHUKI, E. et al. Perdas de solo e de água e infiltração de água em Latossolo vermelho sob sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 3, p. 1777-1785, 2011.

PANDOLFO, CARLA M. E VEIGA, MILTON da. Rendimento de culturas e teores de P no solo em função de doses e formas de aplicação de fertilizante fosfatado em sistema plantio direto. **Revista Agropecuária Catarinense**, Florianópolis SC, v. 26, n. 1, p. 81-85, mar. 2013.

PAUL, B. K. et al. Medium-term impact of tillage and residue management on soil aggregate stability, soil carbon and crop productivity. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, [S.l.]. v. 164, p. 14– 22, 2013.

PORTELA, J. C. **Restauração da estrutura do solo por sequências culturais e sua relação com a erosão hídrica**. 2009. 188 p. Tese (Doutorado)-Universidade do Estado do Rio Grande do Sul, Doutorado em Ciência do Solo, Porto Alegre, 2009.

RAMOS, J. C. Cobertura e rugosidade da superfície na proposição de indicadores de qualidade de um Cambissolo Húmico relacionados ao controle da erosão hídrica. 2015. 205p. Tese (Doutorado)-Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências Agroveterinárias, Doutorado em Ciência do Solo, Lages, 2015.

REINERT, D.J.; REICHERT, J.M. Coluna de areia para medir a retenção de água no solo: protótipos e teste. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 36, p. 1931-1935, 2006.

REYNOLDS, W.D. et al. Indicators of good soil physical quality: Density and storage parameters. **Geoderma**, [S.l.], v. 110, p. 131-146, 2002.

RUFINO, R.L. Avaliação do potencial erosivo da chuva para o Estado do Paraná: segunda aproximação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 10, p. 279-281, 1986.

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

SANGOI, L. et al. Rendimento de grãos e margem bruta de cultivares de milho com variabilidade genética contrastante em diferentes sistemas de manejo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 36, n. 3, p. 747-755, 2006.

SECCO, D. et al. Atributos físicos e rendimento de grãos de trigo, soja e milho em dois Latossolos compactados e escarificados (Crop yield and physical attributes in two oxisols compacted and chiseled). **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, p. 58–64, 2009.

SILVA, D.A. et al. Culturas antecessoras e adubação nitrogenada na cultura do milho, em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, [S.l.]. v. 5, p. 75-88, 2006.

SILVA, A.A. et al. Sistemas de coberturas de solo no inverno e seus efeitos sobre o rendimento de grãos do milho em sucessão. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 37, n. 4, p. 928-935, 2007.

SEBEN JUNIOR, G. de F.; CORÁ, J. E.; & LAL, R. The effects of land use and soil management on the physical properties of an oxisol in southeast Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 38, p. 1245-1255, 2014.

SHARPLEY, A. N.; SMITH, S. J. Wheat tillage and water quality in the Southern Plains. **Soil Tillage Reserch**, [S.l.]. v. 30, p. 33–48, 1994

SCHICK, J. et al. Erosão hídrica em Cambissolo Húmico submetido a diferentes sistemas de preparo e cultivo do solo: I. Perdas de solo e água. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, p. 427-436, 2000.

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. 149p. Tese (Doutorado)-Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências Agroveterinárias, Doutorado em Ciência do Solo, Lages, 2014.

SCHICK, J. et al. Erodibilidade de um Cambissolo Húmico sob chuva natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 38, p. 1906-1917, 2014a.

SCHICK, J. et al. Erosividade das chuvas de Lages, Santa Catarina. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 38, p. 1890-1905, 2014b.

SCHICK, J. et al. Water Erosion in a Long-Term Soil Management Experiment with a Humic Cambisol. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 41, e0160383, 2017.

SOUZA, V. F. C.; BERTOL, I.; E WOLSCHICK, N. H. Effects of Soil Management Practices on Water Erosion under Natural Rainfall Conditions on a Humic Dystrudept. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 41, e0160443, 2017.

TEDESCO, M.J.; **Análises de solo, plantas e outros materiais**. ed. 2, Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995,174p.

TEIXEIRA, C.F.A.; PAULETTO, E.A.; SILVA, J.B. Resistência mecânica à penetração de um Argissolo amarelo distrófico típico sob diferentes sistemas de produção em plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 33, p. 1165-1167, 2003.

THOMAZINI, A.; AZEVEDO, H. C. A.; MENDONCA, E. S.; Perdas de solo e nutrientes em sistemas conservacionistas e convencionais de café no sul do estado do Espírito Santo. **Revista Brasileira de Agroecologia**. [S.l.]. p. 150-159, 2012.

VEZZANI, F. M.; MIELNICZUK, J. Agregação e estoque de carbono em Argissolo submetido a diferentes práticas de manejo agrícola. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 3, p. 213-223, 2011.

WERLE, R.; GARCIA, R. A.; ROSOLEM, C. A. Lixiviação de potássio em função da textura e da disponibilidade do nutriente no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 6, p. 2297-2305, 2008.

WINCK, B. R. et al. Carbono e nitrogênio nas frações granulométricas da matéria orgânica do solo, em sistemas de culturas sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 3, p. 980-989, 2014.

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

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

WOLSCHICK, N. H. **Desempenho de plantas de cobertura e influência nos atributos do solo e na produtividade de culturas em sucessão**. 2014. 95 p. Dissertação (Mestrado)- Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências Agroveterinárias, Mestrado em Ciência do Solo, Lages, 2014.

WOLSCHICK, N. H. et al. Cobertura do solo, produção de biomassa e acúmulo de nutrientes por plantas de cobertura. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lages, v. 15, n. 2, p. 134-143, 2016.

WOLSCHICK, N. H. et al. Long-term effect of soil use and management on organic carbon and aggregate stability. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, n. 42 (Aceito), 2018a.

WOLSCHICK, N. H. et al. The effect of soil management on pore size distribution and water infiltration - observations from southern Brazil. (elaboração) 2018b.

WOLSCHICK, N. H.; BARBOSA, F. T.; BERTOL, I.; SANTOS, K. F. dos; MUZEKA, L. M. Plantas de cobertura do solo e seus efeitos na produtividade de milho e soja. **Scientia Agraria Paranaensis**, (Aceito), 2018c.

ANEXO A - ANÁLISES GRANULOMÉTRICAS DO SOLO

Resultados da partícula (Dp), teor de areia, silte e argila no início da pesquisa em 2015, em cinco camadas para um Cambissolo Húmico em Lages SC.

Trat.	Dp g cm ⁻³	Areia	Silte	Argila
Camada 0,0 a 2,5 cm				
SD1	2,21	17,4	48,2	34,4
SD2	2,35	16,6	42,0	41,3
SD3	2,27	13,0	47,6	39,5
SD4	2,44	12,2	42,2	45,6
SD5	2,53	14,6	40,6	45,4
Média	2,36	14,8	44,1	41,2
D.P.	0,13	2,24	3,51	4,64
C.V.	0,07	0,16	0,07	0,12
Camada 2,5 a 5,0 cm				
SD1	2,37	14,5	44,5	41,0
SD2	2,34	16,1	42,9	41,0
SD3	2,44	11,1	47,2	41,8
SD4	2,47	11,8	41,3	46,8
SD5	2,47	14,5	38,3	46,9
Média	2,42	13,6	42,8	43,5
D.P.	0,06	2,08	3,34	3,08
C.V.	0,02	0,17	0,07	0,09
Camada 5,0 a 10,0 cm				
SD1	2,39	13,7	44,6	41,7
SD2	2,46	15,2	44,8	40,0
SD3	2,38	13,5	45,7	40,8
SD4	2,40	11,2	40,0	48,8
SD5	2,46	13,5	39,5	47,0
Média	2,42	13,4	42,9	43,7
D.P.	0,04	1,43	2,93	3,97
C.V.	0,02	0,13	0,06	0,09
Camada 10,0 a 20,0 cm				
SD1	2,43	12,8	45,7	41,6
SD2	2,46	15,2	41,2	43,7
SD3	2,44	13,3	43,9	42,8
SD4	2,47	11,8	42,3	45,9
SD5	2,45	13,7	38,8	47,9
Média	2,45	13,4	42,4	44,4
D.P.	0,02	1,25	2,62	2,52
C.V.	0,02	0,1	0,06	0,07
Camada 20,0 a 40,0 cm				

Continua...

Anexo A (continuação) - Tabela 43 - Resultados da partícula (Dp), teor de areia, silte e argila no início da pesquisa em 2015, em cinco camadas para um Cambissolo Húmico em Lages SC.

Trat.	Dp g cm ⁻³	Areia	Silte	Argila
SD1	2,42	12,4	45,4	42,2
SD2	2,39	14,7	41,2	44,1
SD3	2,39	12,6	42	44,8
SD4	2,50	11,4	42	46,6
SD5	2,44	12,1	43,3	44,4
Média	2,43	12,6	42,8	44,4
D.P.	0,05	1,24	1,65	1,58
C.V.	0,02	0,11	0,04	0,05

Nota: (SD1) semeadura direta consolidada, com manejo anterior também sob semeadura direta, constituindo a testemunha; (SD2) semeadura direta implantada após rotação de preparos; (SD3) semeadura direta implantada após preparo reduzido; (SD4) semeadura direta implantada após preparo convencional do solo; e (SD5) semeadura direta implantada sob solo descoberto e sem cultivo.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.