

BARBARA BAGIO

**EROSÃO HÍDRICA EM DIFERENTES COMPRIMENTOS DE
DECLIVE EM SOLO DESCOBERTO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo da Universidade do Estado de Santa Catarina, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Ciência do Solo.

Orientador: Dr. Ildegardis Bertol

LAGES, SC

2016

Bagio, Barbara

Erosão hídrica em diferentes comprimentos de declive em solo descoberto - Lages, 2016.

96 p.: il.; 21 cm

Orientador: Ildegardis Bertol

Bibliografia p. 83-94

Dissertação (Mestrado) - Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências Agroveterinárias, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Lages, 2016.

1. Perdas de solo e água. 2. Chuva natural. 3. Modelo de predição de perda de solo. I. Bagio, Barbara. II. Bertol, Ildegardis. III. Universidade do Estado de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo. IV. Título

Ficha catalográfica elaborada pela aluna.

BARBARA BAGIO

**EROSÃO HÍDRICA EM DIFERENTES COMPRIMENTOS DE
DECLIVE EM SOLO DESCOBERTO.**

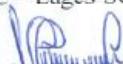
Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo da Universidade do Estado de Santa Catarina, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Ciência do Solo.

Banca examinadora

Orientador/Presidente:


Dr. Ildegardis Bertol
(UDESC – Lages-SC)

Membro externo:


Dr. Jefferson Schick
(IFSC – Canoinhas-SC)

Membro interno:


Dra. Letícia Sequinatto
(UDESC – Lages-SC)

Lages, SC, 05/02/2016

Dedico aos meus pais Adir e Marta,
que com todo amor e dedicação,
nunca mediram esforços para a
realização dos meus sonhos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos que contribuíram para a elaboração deste trabalho.

Ao professor Ildegardis Bertol pela orientação, amizade, dedicação, incentivo, paciência, experiências transmitidas e ajuda incondicional em todas as etapas deste trabalho.

Aos meus pais Adir Bagio e Marta Clari Stangherlin Bagio pelo exemplo de caráter, dedicação e amor. Pelo incontestável apoio e incentivo no decorrer destes anos e pela compreensão da minha ausência nos momentos de alegrias e de tristezas.

Às minhas irmãs Deise Bagio Manfron, Diane Bagio Vacchin e Shéli Bagio pelo amor e apoio incondicional e irrestrito. Aos meus sobrinhos Paula, Cecília e Otávio por todos os momentos de alegria.

A todos os amigos do laboratório de Uso e Conservação do Solo, principalmente a Danieli Schneiders, Maria Aparecida do Nascimento dos Santos, Júlio César Ramos, Sonia Armbrust e Vinícius Ferreira pela amizade, pelo incentivo e pela ajuda na condução do experimento, em especial a Neuro Wolschick e José Mecabô Júnior pela inestimável ajuda nos trabalhos de campo, pela amizade, sugestões e torcida para que tudo desse certo.

Aos estagiários Luran Muzeka, Fernando Sousa e Loriane Bernardi pela amizade e dedicação durante a condução do experimento desta pesquisa.

Ao Dr. Luciano Gebler e a todos da Embrapa Uva e Vinho de Vacaria. À Dra. Taísa Dal Magro pela indicação, incentivo e exemplo.

À Lucieli, Luiza, Gilvani, Pâmella, Léia, Ju, Maira e Luis Henrique, pela amizade e pelos momentos felizes que juntos passamos.

À UDESC, especialmente ao CAV e ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo pela formação científica. Aos professores do Departamento de Solos pelos ensinamentos transmitidos. Ao CNPQ e FAPESC pelos recursos financeiros e à CAPES pela concessão da bolsa.

*“(...) A terra nos parece a vida
quando é dela que vem o que
produzimos, quando é nela que
depositamos tudo que temos, nosso
saber, nosso sangue, nossas
esperanças. A terra é o
seguimento, é o lugar sagrado
onde nossos avós pisaram suas
botas e previram, com olhos de
quem avistava longe, o nosso
futuro sobre esta terra.
É o que temos e o que somos.”*

Gujo Teixeira

RESUMO

Bagio, Barbara. **Erosão hídrica em diferentes comprimentos de declive em solo descoberto.** 2016. 87 p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade do Estado de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias, Lages, SC, 2016.

A erosão hídrica degrada o solo e contamina o ambiente, influenciada, dentre outros fatores, pelo comprimento de declive. Com este trabalho objetivou-se quantificar as perdas de solo (PS) e de água (PA) em diferentes comprimentos de declive num CAMBISSOLO HÚMICO ALUMÍNICO léptico, em experimento de campo, em condição de chuva natural, em Lages, SC e estimar as perdas de solo para as condições do experimento pelo modelo USLE e RUSLE. Os tratamentos, com duas repetições, constituíram-se nos comprimentos de declive de 11 m, 22 m, 33 m e 44 m, em uma declividade média de 8%, em solo cultivado com milho anteriormente à pesquisa. Ao final do ciclo do milho, o resíduo da parte aérea foi removido da superfície, permanecendo as raízes da cultura em solo sem cultivo e descoberto. Avaliou-se a erosão entre 04/07/2014 e 18/06/2015, em eventos individuais de 41 chuvas erosivas. As PS foram ajustadas para a declividade de 0,09 m m^{-1} (padrão para a Equação Universal de Perda de Solo - USLE), por meio do fator S. As chuvas erosivas totalizaram 1.349 mm, com EI_{30} de 6.066 MJ mm $ha^{-1} h^{-1}$. As perdas de solo aumentaram com o aumento do comprimento de declive e foram maiores no verão e na primavera do que o no outono e inverno; as perdas de água apresentaram a mesma tendência, com menores variações entre os comprimentos de declive e as referidas estações do ano. As perdas de solo e água por erosão hídrica relacionaram-se linear e positivamente com a erosividade e com a altura de chuva, respectivamente. As perdas de solo foram satisfatoriamente estimadas pela USLE e

RUSLE, com valores menores do que os observados em campo, mantendo uma linear e positiva relação entre as variáveis. A RUSLE estimou melhor as perdas de solo do que a USLE, em comparação aos valores observados em campo, especialmente em comprimentos de declives mais longos. As perdas de solo estimadas pela RUSLE relacionaram-se linear e positivamente com as referidas perdas estimadas pela USLE.

Palavras-chave: Perdas de solo e água. Chuva natural. Modelo de predição de perda de solo.

ABSTRACT

Bagio, Barbara. **Erosion under different slope lengths in bare soil.** 2016. 85 p. Dissertation (Master in Soil Science) - University of the State of Santa Catarina. Graduate Program in Soil Science, Lages, SC, 2016.

The water erosion degraded the soil and contaminates the environment, influenced, among other factors, the slope length. This work aimed to quantify the losses of soil (PS) and water (PA) in different slope lengths in Cambissolo Húmico soil, in a field experiment in natural rainfall condition in Lages, SC and estimate losses soil to the conditions of the experiment by USLE and RUSLE model. The treatments with two replications, were constituted in slope length of 11 m, 22 m, 33 m and 44 m, at an average gradient of 8%, in soil cultivated with corn prior to the survey. At the end of the evaluation period, the shoot residue was removed from the surface, leaving the crop roots in bare soil and discovered. We evaluated the erosion between 04/07/2014 and 06/18/2015 in individual events of 41 erosive rainfall. The PS were adjusted to the slope of 0.09 m m^{-1} (standard for the Universal Soil Loss Equation - USLE), through the factor S. Erosive rainfall totaled 1,349 mm, with $Ei30$ of $6,066 \text{ MJ mm ha}^{-1}\text{h}^{-1}$. Soil losses increased with increasing slope length and were greater in the summer and spring than in autumn and winter; water losses showed the same trend, with lower among slope lengths and these seasons. Soil and water losses by erosion related to linear and positively with the erosivity and the rain height, respectively. Soil losses were satisfactorily estimated by USLE and RUSLE, with lower than those observed in the field values, keeping a linear and positive relationship between the variables. The RUSLE estimated soil losses better than the

USLE, compared to those observed in the field, especially in longer lengths slopes. Soil losses estimated by RUSLE related to linear and positively with these estimated losses USLE.

Keywords: Soil and water losses. Natural rainfall. Soil loss prediction models.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Vista aérea da área experimental, com detalhe para a distribuição espacial das parcelas com os respectivos tratamentos (a) e vista geral das parcelas experimentais e sistema de coleta de enxurrada (b).	40
Figura 2. Relação entre as perdas de água (média dos tratamentos e das repetições) e altura de chuva, considerando os dados individuais de cada evento.	56
Figura 3. Relação entre as perdas de solo (média dos tratamentos e das repetições) e erosividade (Ei_{30}) das chuvas, considerando os dados individuais de cada evento.	57
Figura 4. Relação entre as perdas de solo e as perdas de água, considerando os dados coletados em cada tratamento e em cada chuva erosiva (média das repetições).	58
Figura 5. Relação entre os valores de perda de solo e os de fator L da USLE, considerando os dados de perda de solo total observados em cada tratamento (média das repetições).	71
Figura 6. Relação entre os valores de perda de solo e os de fator L da RUSLE, considerando os dados de perda de solo total observados em cada tratamento (média das repetições) .	72
Figura 7. Relação entre os valores de perda de solo observados e os valores estimados pela USLE em cada tratamento (média das repetições).	77

Figura 8. Relação entre os valores de perda de solo observados e os valores estimados pela RUSLE em cada tratamento (média das repetições).77

Figura 9. Relação entre os valores de perda de solo estimados pela RUSLE e os valores estimados pela USLE em cada tratamento (média das repetições).79

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Algumas propriedades químicas do solo nos diferentes tratamentos (Trat) e nas camadas (Cam) do solo, determinadas em amostras do solo coletadas antes da instalação dos tratamentos (An) e após o termino da pesquisa (Ap) (média das repetições).....	48
Tabela 2. Valores de densidade, macroporosidade, microporosidade e porosidade total do solo, nos diferentes tratamentos (Trat) e nas camadas (Cam) do solo, obtidos em amostras coletadas antes da instalação dos tratamentos (An) e após o termino da pesquisa (Ap) (média das repetições).....	51
Tabela 3. Valores de densidade (Ds), porosidade total (Pt), macroporosidade (Macro) e microporosidade (Micro) do solo, nos diferentes tratamentos por camada, obtidos em amostras coletadas antes da instalação dos tratamentos (An) e após o termino da pesquisa (Ap) (média das repetições)	52
Tabela 4. Valores de diâmetro médio ponderado de agregados, nos diferentes tratamentos e nas camadas do solo, obtidos em amostras coletadas antes da instalação dos tratamentos (An) e após o termino da pesquisa (Ap) (média das repetições).....	54
Tabela 5. Valores de perdas de solo total, nos diferentes tratamentos, obtidas no período de 04/07/2014 a 18/06/2015 (média das repetições).....	60
Tabela 6. Valores de perdas de água,nos diferentes tratamentos, obtidas no período de 04/07/2014 a 18/06/2015 (média das repetições).....	64

Tabela 7. Valores de altura de chuva (Ac), erosividade (EI₃₀) e perdas de solo (PS), nos diferentes tratamentos (Trat), obtidas obtidos em cada estação do ano (média das repetições).....66

Tabela 8. Valores de altura de chuva (Ac), erosividade (EI₃₀) e perdas de água (PA), nos diferentes tratamentos, obtidos em cada estação do ano (média das repetições).68

Tabela 9. Valores de número (Nu) e altura (Ac) de chuvas erosivas, erosividade (EI₃₀), perdas de solo (PS) e perdas de água (PA), nos diferentes tratamentos, obtidos em cada mês do ano (média das repetições).....70

Tabela 10. Valores de perda de solo estimada pela USLE (A), erosividade das chuvas (fator R), erodibilidade do solo (fator K), comprimento do declive (fator L), declividade do terreno (fator S), cobertura e manejo do solo (fator C) e práticas conservacionistas de suporte (fator P), nos diferentes tratamentos (média das repetições para A).....74

Tabela 11. Valores de perda de solo estimada pela RUSLE (A), erosividade das chuvas (fatorR), erodibilidade do solo (fator K), comprimento do declive (fator L), declividade do terreno (fator S), cobertura e manejo do solo (fator C) e práticas conservacionistas de suporte (fator P), nos diferentes tratamentos (Trat) (média das repetições para A).....76

SUMÁRIO

1 Introdução.....	25
2 Revisão de literatura.....	26
2.1 Erosão hídrica do solo	26
2.2 Fatores que influenciam a erosão hídrica	27
2.3 Influência do relevo na erosão hídrica	29
2.3.1 Influência do comprimento de declive nas perdas de solo e água.....	29
2.3.2 O modelo USLE e RUSLE.....	32
3 Hipóteses	37
4 Objetivo geral.....	37
5 Objetivos específicos.....	38
6 Material e métodos	38
6.1 Local, tipo de solo e natureza da pesquisa	38
6.2 Manejo do solo realizado na área experimental antes de instalar a pesquisa	39
6.3 Unidades experimentais ou parcelas e sistema coletor de enxurrada.....	40
6.4 Tratamentos e período de avaliação	41
6.5 Quantificação da erosão	42
6.6 Coleta de amostras do solo.....	44
6.7 Determinações químicas e físicas	44

6.8 Determinação dos fatores do modelo USLE e RUSLE..	45
6.9 Delineamento experimental e tratamento estatístico dos dados	46
7 Resultados e discussão.....	47
7.1 Propriedades químicas do solo	47
7.2 Propriedades físicas do solo.....	51
7.3 Perdas de água e solo.....	55
7.4 Estimativa das perdas de solo por erosão pela USLE e RUSLE.....	71
8 Conclusões	81
Referências	82
Anexos	94

1 INTRODUÇÃO

A erosão hídrica é o principal fator de degradação do solo, pois o empobrece no local de origem da erosão e contamina o ambiente fora deste local, principalmente os recursos hídricos.

Dentre os impactos negativos da erosão hídrica destaca-se o empobrecimento químico do solo que reduz a produtividade da maioria das culturas, com consequente aumento nos custos de produção. Além disso, a degradação física do solo, o assoreamento dos corpos hídricos, a eutrofização e a deterioração dos ecossistemas aquáticos são formas de degradação ambiental.

A recuperação das áreas degradadas pela erosão hídrica, tanto na origem quanto no destino, muitas vezes é inviável, devido ao investimento econômico necessário para a reinserção dessas áreas no processo produtivo. Entretanto, a utilização de sistemas de manejo adequados e o planejamento conservacionista do solo podem fazer com a erosão se torne tolerável, tanto do ponto de vista da capacidade produtiva do solo, quanto da preservação ambiental.

Para viabilizar o planejamento conservacionista de forma segura é fundamental conhecer a capacidade erosiva das chuvas, a suscetibilidade dos solos à erosão hídrica e o efeito do relevo na erosão, além dos demais fatores que influenciam este fenômeno.

Em Santa Catarina, o relevo assume um papel de destaque na erosão hídrica, pois em geral o terreno é ondulado, o que, isoladamente ou combinado a longos comprimentos de declive, aumentam a erosão hídrica. Nestas condições a enxurrada adquire maior energia ao longo da pendente, o que aumenta sua capacidade de desagregação das partículas e de transporte dos sedimentos desagregados.

Baseado no exposto verifica-se a importância de se conhecer a relação entre a erosão hídrica e o comprimento de

declive, para fornecer subsídios à modelagem com vistas a definir um limite de comprimento de declive. Com isso, se poderá usar o modelo USLE e a sua versão revisada RUSLE, para predizer a perda de solo em diferentes comprimentos de declive, variando apenas o comprimento de declive (fator L) desse modelo.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 EROSÃO HÍDRICA DO SOLO

A erosão hídrica pluvial é causada pela ação da água da chuva sobre o solo, compreendendo as fases básicas de desagregação, transporte e deposição, as quais muitas vezes não são distintas uma das outras porque podem ocorrer concomitantemente (ELLISON, 1947).

A desagregação consiste no desprendimento das partículas de solo da sua massa original, tornando-as disponíveis para o transporte. Ela ocorre devido à ação da energia cinética do impacto das gotas de chuva sobre o solo descoberto e, em menor magnitude, devido à energia cisalhante gerada pelo escoamento superficial sobre o solo. O transporte é realizado pelo escoamento superficial ou pelo salpico das gotas de chuva e consiste no movimento das partículas desagregadas para um ponto além do seu local de origem. A deposição ocorre quando a capacidade de transporte do fluxo não é suficiente para carregar todo o material erodido, ocasionando sua deposição ao longo da superfície do solo (ELLISON, 1947; FOSTER & MEYER, 1972; MEYER et al., 1975). A deposição é seletiva, ou seja, as partículas de maior diâmetro ou de maior densidade são depositadas primeiramente ao longo da pendente do declive (ELLISON, 1947).

A erosão do solo pode ocorrer nas áreas entre sulcos ou em sulcos, dependendo das condições superficiais do solo e dos agentes erosivos (ELLISON, 1947).

A erosão em entre sulcos caracteriza-se pela formação de uma lâmina de água sobre a superfície do solo sem que haja uma concentração do escoamento superficial (WISCHMEIER & SMITH, 1958; HUDSON, 1995). Nessa forma de erosão, a energia cinética do impacto das gotas de chuva é o principal agente de desagregação das partículas de solo. O transporte destas partículas desagregadas é realizado pelo salpicamento provocado pelas gotas de chuva, associado ao fluxo laminar turbulento da enxurrada (MEYER et al., 1975; FOSTER et al., 1982).

A erosão em sulcos caracteriza-se pela concentração do escoamento superficial em pequenas depressões da superfície do solo chamadas de sulcos de erosão. Quando isso ocorre, a lâmina de escoamento desenvolve maior tensão de cisalhamento pelo aumento de espessura, elevando a capacidade da enxurrada em desagregar o solo (FOSTER et al., 1982; CANTALICE et al., 2005). Portanto, na erosão em sulcos, o escoamento superficial concentrado é o responsável tanto pela desagregação quanto pelo transporte das partículas de solo (MEYER et al., 1975; FOSTER et al., 1982). Em geral, a quantidade total de erosão hídrica é o produto resultante do poder da chuva em originar erosão e do solo em resistir a ela.

2.2 FATORES QUE INFLUENCIAM A EROSÃO HÍDRICA

Os fatores que influenciam a erosão hídrica são: a chuva expressa por sua erosividade; o solo expresso por sua erodibilidade; o relevo expresso pelo grau e comprimento do declive; a cobertura por plantas ou seus resíduos e o uso e manejo do solo; e as práticas conservacionistas de suporte (WISCHMEIER & SMITH, 1978; HUDSON, 1995; RENARD et al., 1997).

A chuva é o agente ativo no processo erosivo, a magnitude de sua influência depende de sua intensidade, duração e

volume. Estas características refletem-se na energia da chuva, definindo sua erosividade. A erosividade da chuva, portanto, consiste no potencial da chuva em causar erosão (WISCHMEIER & SMITH, 1978; RENARD et al., 1997).

O solo é considerado um agente passivo e a erodibilidade expressa sua suscetibilidade natural à erosão hídrica, em taxa de perda de solo por unidade de índice de erosividade (WISCHMEIER & SMITH, 1978; RENARD et al., 1997). A erodibilidade do solo apresenta grande variabilidade espacial e temporal, explicada pela diversidade climática que influencia o potencial erosivo das chuvas e a variabilidade dos solos (BERTOL et al., 2002).

O relevo é constituído principalmente pelo grau do declive e pelo comprimento do declive. No entanto, estes dois aspectos do relevo são influenciados ainda pela forma, podendo ser uniforme, côncava ou convexa. Alterações na inclinação e/ou no comprimento do declive, bem como na forma do relevo, afetam a erosão entre sulcos e a erosão em sulcos (RENARD et al., 1997), pois estas alterações tem influência no volume e na velocidade da enxurrada.

A cobertura do solo é influenciada pela copa das plantas e pelos resíduos vegetais. Os resíduos vegetais dissipam a energia cinética das gotas de chuva no ponto de impacto. Dessa forma, o aumento da cobertura reduz a área exposta da superfície do solo ao impacto das gotas, impedindo a desagregação do solo. Além disso, a cobertura do solo pelos resíduos vegetais torna-se uma barreira física à enxurrada, reduzindo sua velocidade e, consequentemente, sua capacidade de transportar solo (WISCHMEIER & SMITH, 1978; DA SILVA et al., 2006). A cobertura do solo pela copa das plantas não altera o volume e velocidade da enxurrada, entretanto, intercepta a queda das gotas, dissipando a energia cinética da chuva (WISCHMEIER & SMITH, 1978).

As práticas conservacionistas de suporte abrangem o preparo e cultivo em contorno, o cultivo em faixas com rotação

de culturas e em contorno e o terraceamento. Estas práticas reduzem as perdas de solo e água devido à redução da ação erosiva do escoamento superficial (WISCHMEIER & SMITH, 1978).

2.3 INFLUÊNCIA DO RELEVO NA EROSÃO HÍDRICA

O relevo apresenta significativa importância para a erosão hídrica, uma vez que é um fator potencializador do processo, afetando substancialmente a taxa de erosão hídrica.

A inclinação do declive do terreno é um fator que influencia fortemente as perdas de solo e água por erosão hídrica, pois, à medida que ela aumenta, diminui a infiltração de água no solo. Com isso, aumenta a capacidade de transporte das partículas de solo pela enxurrada, assim como a capacidade do fluxo de desagregar o solo por ação de cisalhamento (COGO et al., 2003). As perdas de solo aumentam acentuadamente com o aumento da declividade, sendo proporcionais à inclinação do declive elevado à potência média de 1,5 (HUDSON, 1995).

O comprimento do declive é outro importante aspecto do terreno que exerce influência sobre a erosão hídrica (LIMA, 2015). O acúmulo do escoamento ao longo do declive faz aumentar o volume e a velocidade da enxurrada, o que aumenta a energia do escoamento superficial (WISCHMEIER & SMITH, 1978; BERTOL, 1995; BERTONI & LOMBARDI NETO, 2010).

2.3.1. Influência do comprimento de declive nas perdas de solo e água

O comprimento de declive é definido como a distância horizontal a partir do ponto de origem do escoamento superficial até o ponto onde o escoamento entra em um canal pré-definido ou quando o declive decresce o suficiente para

que haja deposição das partículas que estão suspensas no fluxo (WISCHMEIER & SMITH, 1978).

A perda de solo por unidade de área geralmente aumenta significativamente com o aumento do comprimento de declive. A maior acumulação do escoamento nos maiores comprimentos de declive aumenta a capacidade de desagregação e transporte do fluxo em relação aos menores comprimentos (WISCHMEIER & SMITH, 1978; BERTOL, 1995; BERTONI & LOMBARDI NETO, 2010).

De modo geral, a perda de solo por erosão por unidade de área é proporcional ao comprimento do declive (L) elevado ao expoente 0,5 (HUDSON, 1995). Significa que, duplicando o comprimento do declive, a perda de solo aumenta aproximadamente 1,5 vezes (WISCHMEIER & SMITH, 1978).

As perdas de água são menos afetadas pelo comprimento do declive do que as perdas de solo. Isso ocorre devido ao fato de que o solo apresenta um limite de infiltração e de armazenamento de água, de acordo com sua capacidade. Quando este limite é ultrapassado, a água escoa sobre o terreno e as diferenças entre os tipos de manejo são reduzidas (KOHNKE, 1968).

Os efeitos do comprimento do declive no escoamento superficial e na erosão do solo ainda não são adequadamente compreendidos. Há poucos experimentos de campo conduzidos especificamente para quantificar os efeitos do comprimento do declive na enxurrada e na erosão (LAL, 1988), cujos resultados são às vezes contraditórios.

Laflen & Saveson (1970) relataram que o escoamento superficial aumenta linearmente com o aumento do comprimento do declive. Na Guatemala, Akeson & Singer (1984) observaram que as perdas de solo variaram de 50,5 t ha⁻¹ em parcelas de 2,4 m a 144 t ha⁻¹ em parcelas de 14,7 m, em condição de solo descoberto. Na Nigéria Lal (1983) observou que em encostas não cultivadas, a erosão do solo aumentou

com o aumento no comprimento de declive. Zingg (1940) relatou um aumento de 3,03 vezes nas perdas de solo quando duplicado o comprimento horizontal de declive.

Dos trabalhos realizados no Brasil para quantificar a erosão em diferentes comprimentos de declive, alguns foram conduzidos em condição de chuva natural, mas a maior parte em condição de chuva simulada.

Silva & De Maria (2011), realizaram um experimento em Campinas (SP), sob condição de chuva natural, em um solo de textura argilosa, com 6% de declividade média, sob semeadura direta e não observou perda de solo em parcelas com comprimentos de declive de 25, 50 e 75 m. A ampliação dos comprimentos de declive nessa condição de baixa declividade não aumentou a energia cisalhante da enxurrada, a ponto de causar a remoção dos resíduos vegetais da superfície e o aumento na taxa de erosão do solo nas parcelas.

No caso dos experimentos em condição de chuva simulada, os estudos foram conduzidos para quantificar o comprimento crítico de declive, este é definido como a distância no terreno a partir da qual a enxurrada adquire tensão cisalhante suficiente para superar a resistência do resíduo ao transporte e/ou a resistência do solo ao sulcamento (FOSTER et al., 1982).

Bertol (1995), em pesquisas realizadas em um Argissolo Vermelho Amarelo, encontrou limites de comprimento crítico de declive para a semeadura direta e escarificação, variando de 328 a 483 m e de 147 a 209 m, sobre os resíduos de milho, respectivamente e de 157 a 272 m e de 143 a 267 m quando cobertos pelos resíduos de trigo + milho. Moraes (1999), no mesmo solo em semeadura direta, encontrou um limite de comprimento de declive de 20 a 109 m sobre resíduos de soja, de 99 a 110 m sobre resíduos da aveia preta e de 107 a 164 m sobre resíduos de milho. Amaral (2010), estudando comprimentos críticos de declive em semeadura direta, sobre diferentes doses de resíduo cultural de milho em um Nitossolo

Bruno, constatou a existência da falha do resíduo nos intervalos de 171 a 456 m e de 64 a 118 m, com e sem hastes sulcadoras, respectivamente. Barbosa et al. (2012), trabalhando em um Nitossolo Bruno, encontraram comprimentos críticos de declive entre 109 e 155 m, 44 e 147 m, e 35 a 137 m, para os resíduos de milho, trigo e soja, respectivamente.

As características intrínsecas do solo, o tipo de uso, o sistema de cultivo e o manejo do solo e das culturas alteram o efeito do comprimento do declive sobre a erosão do solo (LAL, 1988). É comum ainda, a ocorrência de áreas em que o solo é mantido sem cultivo e descoberto, tanto em regiões urbanas quanto rurais no Brasil e nessa condição, as perdas de solo e água são maiores do que em solo cultivado (SCHICK, 2014). Na condição de solo sem cultivo e descoberto, as perdas de solo aumentam linearmente com o aumento da erosividade das chuvas naturais (BAGARELLO & FERRO, 2010). Isto ocorre porque a ausência de proteção do solo permite que a energia erosiva das chuvas possa potencializar a sua capacidade máxima de produzir erosão.

Diante do exposto, evidencia-se o reduzido número de artigos que abordam o efeito do comprimento do declive sobre as perdas de solo e água, portanto, investigar o efeito do comprimento do declive nas perdas de solo e água em condição de solo sem cultivo e descoberto é necessário. Isto permitirá melhor compreender as relações da erosão hídrica com a erosividade e volume das chuvas, modelar as perdas de solo e estabelecer limite de comprimento de declive com base no critério das perdas de solo comparadas à tolerância, nessas condições, como fizeram Bagarello & Ferro (2010) para as condições da Itália.

2.3.2 O modelo USLE e RUSLE

Os princípios básicos da erosão e a relação desta com os principais fatores que a influenciam, bem como os meios

básicos para o controle da erosão foram reconhecidos no início dos anos 30 por Cook (1936). Nos anos 40, Ellison (1947) apresentou uma análise dos vários subprocessos pelo quais a erosão ocorre, reconhecendo a necessidade da criação de uma equação com a qual se predisse as perdas de solo por erosão (FOSTER et al., 1977). Iniciou-se, assim, o embrião do modelo USLE.

Vários esforços no desenvolvimento de uma equação empírica de predição de perda de solo resultaram na USLE. A USLE foi desenvolvida a partir de 1954 pela Divisão de Pesquisa em Conservação do Solo e da Água do Serviço de Pesquisa Agrícola dos Estados Unidos (WISCHMEIER & SMITH, 1978). Este modelo é empírico, desenvolvido para predizer a quantidade média de perda de solo em longos períodos de tempo causada pela erosão em entre sulcos e erosão em sulcos, combinadamente, em condições pré-estabelecidas (WISCHMEIER & SMITH, 1978).

Os fatores básicos que influenciam a erosão foram considerados no desenvolvimento da USLE, no entanto, sua relação matemática foi determinada a partir de análises estatísticas de dados de erosão anuais obtidos em mais de 10.000 parcelas, provindas de 48 estações experimentais norte-americanas. Este modelo é amplamente utilizado para desenvolver planos de conservação para solos cultiváveis quando a manutenção da produtividade é o principal objetivo, bem como para solo descoberto como áreas de locais de construção. Valores médios de perda de solo anual estimados pela USLE são bastante satisfatórios para estes dois fins (FOSTER et al., 1977).

A USLE é expressa matematicamente da seguinte forma:

$$A = R K L S C P, \text{ onde:} \quad (1)$$

A = perda média anual de solo calculada em longo prazo, $Mg\ ha^{-1}\ ano^{-1}$ (esta quantidade posteriormente é confrontada com a tolerância de perda de solo em base anual).

R = Fator erosividade da chuva, $MJ\ mm\ ha^{-1}\ h^{-1}\ ano^{-1}$ (representa um índice numérico que denota a capacidade da chuva de um determinado local em causar erosão).

K = Fator erodibilidade do solo, $Mg\ ha\ h\ ha^{-1}\ MJ^{-1}\ mm^{-1}$ (representa a suscetibilidade do solo à erosão, expressando a quantidade de erosão por unidade do índice de erosividade da chuva, em solo preparado convencionalmente no sentido do declive e mantido continuamente descoberto e sem crostas, com $0,09\ m\ m^{-1}$ de declive e 22,1 m de comprimento – denominada parcela padrão).

L = Fator comprimento do declive, adimensional; este fator representa a relação das perdas de solo de um determinado comprimento de declive em condições de campo com as perdas em um comprimento de 22,1 m, mantidas idênticas as demais condições.

S = Fator grau do declive, adimensional; este fator representa a relação das perdas de solo de uma encosta com determinado declive com as perdas em uma declividade com $0,09\ m\ m^{-1}$, mantidas idênticas as demais condições.

C = Fator cobertura e manejo do solo, adimensional; este fator representa a relação das perdas de solo em um solo cultivado com determinada cultura com as perdas no solo mantido nas mesmas condições da parcela padrão para obtenção do fator K.

P = Fator prática conservacionista de suporte, adimensional; este fator representa a relação das perdas de solo em um solo com determinada prática de controle da erosão com as perdas em solo sem nenhuma prática conservacionista.

Com a continuidade das pesquisas e a implantação de outros experimentos, novos dados e recursos tornaram-se disponíveis. Propostas para melhorias na USLE levaram ao desenvolvimento da Equação Universal de Perda de Solo

Revisada (RUSLE). A RUSLE é uma atualização da USLE incluindo a análise de dados de pesquisa que não estavam disponíveis quando a USLE foi concluída. A tecnologia para avaliação dos fatores foi alterada e novos dados foram introduzidos para avaliar condições mais específicas (RENARD, et al., 1997).

A RUSLE apresenta a mesma fórmula matemática geral de USLE, com modificações, ajustes e melhorias nos fatores determinantes. Estas modificações incluem: mapas de erosão novos e revisados; ajustes para o fator erosividade das chuvas; uma abordagem variável no tempo para o fator erodibilidade do solo; um enfoque totalmente diferente para obtenção do fator cobertura e manejo do solo; uma nova equação para calcular o fator comprimento de declive; novas equações para o fator declividade do terreno; e novas formas de obter valores para o fator práticas conservacionistas de suporte (RENARD, et al., 1997).

Entre os modelos empíricos de predição de erosão existentes, as versões USLE e RUSLE constituem o mais conhecido e utilizado. De acordo com vários autores, a USLE e RUSLE são populares porque combinam precisão aceitável com relativa simplicidade, têm a capacidade de usar dados básicos e de fácil obtenção e são os únicos modelos que contém um conjunto de dados global (RISSE et al., 1993; LIU et al., 2001; SANCHIS et al., 2008; BAGARELLO et al., 2012).

2.3.2.1 O fator L na USLE e na RUSLE

O fator L (comprimento do declive) é obtido fazendo-se a razão esperada entre a perda de solo por unidade de área ocorrida em um comprimento de declive qualquer, para qualquer declividade, e a perda de solo por unidade de área ocorrida em um comprimento de declive de 22,1 m (parcela

padrão), mantidas constantes as demais condições, tanto na USLE, quanto, na RUSLE.

Tanto a USLE como a RUSLE estimam a média da perda de solo em base anual, a qual aumenta de maneira não linear com o aumento do comprimento de declive, de acordo com a equação que segue:

$$L = \left(\frac{\lambda}{22,1} \right)^m, \text{ onde:} \quad (2)$$

L = fator comprimento de declive, adimensional;

λ = comprimento de declive qualquer, m;

22,1 = comprimento de declive da parcela padrão, m; e

m = expoente referente à declividade do terreno (0,5 para declividade $\geq 0,05 \text{ m m}^{-1}$; 0,4 para declividade entre $0,035 \text{ m m}^{-1}$ e $0,045 \text{ m m}^{-1}$; 0,3 para declividade entre $0,01 \text{ m m}^{-1}$ e $0,03 \text{ m m}^{-1}$; 0,2 para declividade $< 0,01 \text{ m m}^{-1}$).

Esta equação foi derivada a partir de dados obtidos em parcelas cultivadas, em condição de chuva natural, em declividades que variaram de $0,03 \text{ m m}^{-1}$ a $0,18 \text{ m m}^{-1}$ (Wischmeier & Smith, 1978).

Para a RUSLE, o expoente m é variável e dependente da declividade do terreno, obtido por meio da equação:

$$m = \frac{\beta}{1+\beta} \text{ onde:} \quad (3)$$

β = razão entre a erosão em sulcos e a erosão em entre sulcos;

Para o cálculo dos valores de “ β ”, em condições em que o solo é moderadamente suscetível tanto para erosão em sulcos quanto em entre sulcos, é utilizada a equação a seguir:

$$\beta = \frac{\left(\frac{\text{sen}\theta}{0,0896} \right)}{[3(\text{sen}\theta)^{0,8} + 0,56]} \text{ onde:} \quad (4)$$

θ = ângulo de inclinação do terreno.

3 HIPÓTESES

As perdas de solo pela erosão hídrica aumentam com o aumento do comprimento de declive, enquanto, as perdas de água são menos influenciadas por tal aumento.

As perdas de solo são maiores no verão e na primavera do que no outono e no inverno, devido ao aumento da erosividade e altura das chuvas, enquanto, as perdas de água diferem menos com as estações do que as perdas de solo.

As perdas de solo relacionam-se linear e positivamente com a erosividade das chuvas, enquanto, as perdas de água relacionam-se do mesmo modo com a altura de chuva.

As perdas de solo em diferentes comprimentos de declive são estimadas pelo modelo USLE e RUSLE, pois o modelo contempla os fatores que influenciam a erosão hídrica, apresentando valores menores do que os observados em campo.

A versão RUSLE estima melhor as perdas de solo, devido às melhorias realizadas no cálculo do fator comprimento de declive (fator L), do que a versão USLE, especialmente em comprimentos de declives mais longos.

4 OBJETIVO GERAL

Quantificar a erosão hídrica em diferentes comprimentos de declive, em campo, e estimar as perdas de solo pelo modelo USLE e RUSLE, para os mesmos comprimentos de declive.

5 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- 5.1 Quantificar as perdas de solo e água experimentalmente em campo em diferentes comprimentos de declive.
- 5.2 Relacionar as perdas de solo com a erosividade e as perdas de água com a altura de chuvas.
- 5.3 Estimar as perdas de solo em diferentes comprimentos de declive por meio do modelo USLE e RUSLE e relacionar os valores estimados com os observados em campo.
- 5.4 Relacionar as perdas de solo estimadas pela RUSLE com as referidas perdas estimadas pela USLE.

6 MATERIAL E MÉTODOS

6.1 LOCAL, TIPO DE SOLO E NATUREZA DA PESQUISA

O experimento foi conduzido em condição de chuva natural, no Campus do Centro de Ciências Agroveterinárias de Lages (CAV/UDESC), Universidade do estado de Santa Catarina, na região do Planalto Sul Catarinense localizado entre 27° 49' S e 50° 20' W, a 923 m de altitude. O clima é do tipo Cfb segundo a classificação de Köeppen, com temperatura média anual de 15,7 °C (WREGE et al., 2011) e precipitação média anual de 1.533 mm (SCHICK et al., 2014). A área experimental apresenta declividade média de 0,08 m m⁻¹. O solo do local do experimento é classificado como CAMBISSOLO HÚMICO ALUMÍNICO léptico, segundo critérios da EMBRAPA (2013), com textura argilosa, substrato siltito e relevo ondulado.

6.2 MANEJO DO SOLO REALIZADO NA ÁREA EXPERIMENTAL ANTES DE INSTALAR A PESQUISA

Anteriormente à instalação da pesquisa, a área continha pastagem natural. Em setembro de 2012, duas arações foram realizadas, a primeira no início e, a segunda, no final do mês. Em outubro, no início do mês fez-se a primeira gradagem, na metade do mês a terceira aração e, no final do mês, aplicou-se 5 Mg ha⁻¹ de calcário dolomítico e procedeu-se a quarta aração e a segunda gradagem. No início de novembro aplicou-se 300 kg ha⁻¹ de adubo fórmula N-P-K, 5-20-10 e, em seguida, realizou-se a terceira gradagem.

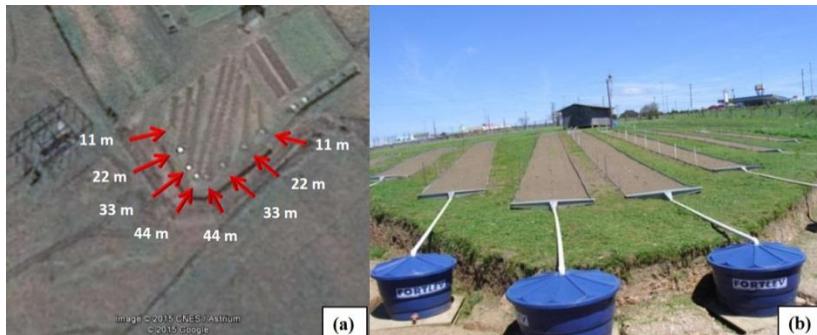
No final de novembro de 2012 semeou-se feijão manualmente, sem adubo, com “saraquá”. Em dezembro aplicou-se 200 kg ha⁻¹ de uréia em cobertura e, em abril de 2013, o feijão foi colhido, tendo sido o resíduo retirado da área.

Em 20 de abril de 2013, uma aração foi realizada em contorno na área e, em seguida, uma gradagem na direção do declive, permanecendo o solo em pousio, sem cultivo, até o final de julho de 2013, quando mais uma aração e duas gradagens foram realizadas.

Em julho de 2013 as unidades experimentais, ou parcelas, foram instaladas, tendo sido delimitadas pelas chapas galvanizadas.

Em novembro de 2013, a área foi gradeada e, em seguida, foi semeado milho, sem adubo, com auxílio de “saraquá”. A semeadura foi realizada em linhas distanciadas 0,7 m uma das outras. Desse modo, três linhas foram semeadas em cada parcela, no sentido do declive. Em maio de 2014, o milho foi colhido, tendo sido o resíduo da parte aérea retirado da superfície do solo das parcelas, permanecendo as soqueiras da cultura dentro do solo. Sobre essa condição, instalaram-se as calhas coletoras de enxurrada para as quais, mais tarde, definiriam os tratamentos, conforme a Figura 1.

Figura 1. Vista aérea da área experimental, com detalhe para a distribuição espacial das parcelas com os respectivos tratamentos (a) e vista geral das parcelas experimentais e sistema de coleta de enxurrada (b).



Fonte: (a): Google Earth. 2015, modificado pela autora; (b): própria autora.

6.3 UNIDADES EXPERIMENTAIS OU PARCELAS E SISTEMA COLETOR DE ENXURRADA

O experimento conceve oito parcelas, cada uma com dimensões de 2 m de largura e diferentes comprimentos de declive, dependendo do tratamento, na direção da pendente. As parcelas foram delimitadas nas laterais e na extremidade superior por chapas galvanizadas de 2 x 0,2 m, cravadas no solo em torno de 0,1 m, seguindo a recomendação contida em Cogo (1978). Na extremidade inferior de cada parcela situa-se um sistema coleto de enxurrada composto de uma calha para receber o material erodido da parcela. Esta calha está conectada por um cano PVC a uma caixa de sedimentação situado 6 m abaixo, com capacidade de 310 L, 500 L, 750 L ou 1.000 L, dependendo da área da parcela.

6.4 TRATAMENTOS E PERÍODO DE AVALIAÇÃO

Foram avaliados quatro tratamentos, em duas repetições de campo, constituídos de diferentes comprimentos de declive, com grau de declividade variável, como a seguir descritos.

Tratamento 1: comprimento de declive de 11 m e declividade média de $0,084 \text{ m m}^{-1}$

Tratamento 2: comprimento de declive de 22 m e declividade média de $0,082 \text{ m m}^{-1}$

Tratamento 3: comprimento de declive de 33 m e declividade média de $0,077 \text{ m m}^{-1}$

Tratamento 4: comprimento de declive de 44 m e declividade média de $0,076 \text{ m m}^{-1}$

Devido à variação de declividade dentro de cada parcela e entre as parcelas (Anexo 1), calculou-se o fator S (fator declividade do terreno) médio para cada parcela, bem como o fator S da declividade padrão da USLE, $0,09 \text{ m m}^{-1}$, conforme proposto por Wischmeier & Smith (1978), utilizando a equação:

$$S = 0,065 + 4,56 \operatorname{sen} \theta + 65,41 (\operatorname{sen} \theta)^2, \text{ onde:} \quad (5)$$

S = fator grau do declive; e

θ = ângulo do declive.

Posteriormente, para o ajuste final dos dados de perda de solo, foi calculado um fator de correção (Fc) para as perdas de solo para cada parcela, tendo como base os fatores S calculados pela equação (5), conforme fórmula a seguir:

$$Fc = \frac{S \ 0,09 \ m \ m^{-1}}{S \text{ médio da parcela}} \quad (6)$$

Os valores de perda de solo de cada parcela foram corrigidos para a declividade média de 0,09 m m⁻¹, multiplicando-se os valores observados em campo pelo Fc calculado para a respectiva parcela pela equação (6).

O solo foi mantido sem cultivo e sem cobertura vegetal durante o período experimental. Nos quatro tratamentos foi aplicado o fertilizante Superfosfato Triplo (SFT na formulação 0-45-0), na quantidade de 300 kg ha⁻¹ em cada tratamento. O SFT foi aplicado manualmente e uniformemente distribuído na superfície, e incorporado levemente ao solo por meio de operação manual com rastelo, em 04 de julho de 2014. O experimento foi conduzido por 12 meses, com coleta de dados entre 04 de julho de 2014 e 18 de junho de 2015.

6.5 QUANTIFICAÇÃO DA EROSÃO

O critério adotado para a seleção das chuvas erosivas foi o de Wischmeier & Smith (1958), modificado por Cabeda (1976), o qual considera erosiva a chuva com altura igual ou superior a 10 mm ou com altura igual ou superior a 6 mm em um intervalo de tempo menor ou igual a 15 minutos. Além disso, chuvas separadas por intervalos de seis horas sem precipitação ou com menos de 1 mm de altura são consideradas individuais, ou separadas uma da outra.

Para o registro da distribuição de altura das chuvas foi utilizado um pluviograma (modelo IH-01-01), com amplitude de registro de 10 mm de precipitação e incremento de 0,2 mm, com tempo de registro de 24 horas e unidade de 10 minutos, acionado por um pluviógrafo mecânico instalado a 600 m da área experimental, no Campus do CAV/UDESC.

As coletas de água e sedimentos pela erosão hídrica, em campo, e o processamento em laboratório, foram determinadas para cada chuva erosiva individual, seguindo a metodologia de uso comum e recomendada por Cogo (1978). Assim, foi quantificado o volume de enxurrada e a massa de sedimentos perdidos em cada chuva e em cada parcela. Durante o período experimental, foram quantificadas as perdas de solo provenientes de 41 chuvas erosivas.

Em cada caixa que armazenava a enxurrada de cada parcela, foi efetuada a medição da altura da suspensão, a coleta de amostras da enxurrada e a quantificação dos sedimentos erodidos. Os sedimentos foram retirados de dentro da caixa de sedimentação e pesados, quando sua quantidade permitia.

Após o registro da altura de enxurrada dentro da caixa, a enxurrada foi homogeneizada e dela, coletadas duas repetições de amostras em frascos plásticos com capacidade de 350 cm³. Em cada frasco destas amostras, foram adicionadas de 3 a 5 gotas de ácido clorídrico (2,5 N) com a finalidade de precipitar os sedimentos em suspensão. Após a sedimentação, que ocorria entre 24 e 48 horas após a aplicação do ácido clorídrico, o sobrenadante era sifonado e retirado de dentro dos frascos, com o auxílio de uma mangueira plástica, restando uma lâmina de cerca de 1 cm de água sobre os sedimentos. Os frascos foram levados à estufa com circulação de ar, na temperatura de 55 – 60 °C, até que atingissem massa constante. Ainda, foi coletada uma amostra dos sedimentos, em cada caixa, para a posterior correção da umidade, com o objetivo de corrigir a massa de sedimentos para a base de solo seco.

Com as amostras da enxurrada, determinou-se a concentração sedimentos na enxurrada e a massa de sedimentos existentes na suspensão. O produto da altura de enxurrada dentro das caixas pela área das caixas forneceu o volume de enxurrada. A partir das amostras de sedimentos secos nos frascos, foi calculada a massa de solo seco contida em suspensão nas caixas, relacionando-se com os volumes de

enxurrada das caixas. Os valores de massa de solo seco e de água contidos nas caixas foram somados aos de massa de solo seco e de água contida nos sedimentos, permitindo a obtenção das perdas totais de solo e de água, respectivamente, ocorridas em cada chuva.

6.6 COLETA DE AMOSTRAS DO SOLO

Amostras do solo foram coletadas em quatro camadas: 0 - 2,5 cm; 2,5 - 5 cm; 5 - 10 cm; e 10 - 20 cm, em dois momentos, no início e ao final do período experimental, em uma posição central na parcela para a caracterização da área experimental. Nas amostras não deformadas, coletadas com auxílio de anéis (5 cm de diâmetro e 2,5 ou 5 cm de altura, conforme a profundidade da coleta), na mesma posição recém-descrita nas parcelas, foi determinada a densidade e a porosidade (macro, micro e total) do solo, enquanto que nas amostras deformadas, foi determinada a estabilidade de agregados em água, teor de matéria orgânica e os teores de fósforo, potássio, cálcio e magnésio, além do índice pH em água.

6.7 DETERMINAÇÕES QUÍMICAS E FÍSICAS

A densidade do solo foi determinada por diferença de massa, por pesagem, e a porosidade do solo por sucção em coluna d'água de 0,6 m de altura em mesa de tensão de areia, ambas seguindo a metodologia descrita em Forsythe (1975). A estabilidade de agregados em água foi determinada por balanceamento a úmido, seguindo a metodologia descrita em Kemper & Chepil (1965).

O teor de matéria orgânica foi obtido por combustão a úmido e quantificado por colorimetria. O pH em água foi determinado em amostras diluídas 1:1. Os teores de fósforo extraível nos sedimentos e de fósforo extraível e potássio trocável no solo foram extraídos por duplo ácido (Mehlich-1), sendo o fósforo quantificado por colorimetria e o potássio por fotometria de chama. Os teores de cálcio e magnésio trocável no solo foram extraídos com solução de KCl 1M e quantificados por leitura em absorção atômica. Estes procedimentos estão descritos em Tedesco et al. (1995).

6.8 DETERMINAÇÃO DOS FATORES DO MODELO USLE E RUSLE.

O fator R para ambos os modelos foi obtido através do produto entre a energia cinética total e a intensidade máxima em 30 minutos, denominado de índice EI_{30} . Para a obtenção deste índice, nos pluviogramas diários, as chuvas erosivas foram cotadas manualmente em segmentos de intensidade uniforme e registradas em planilhas. Posteriormente, utilizou-se o programa “*Chuveros*”, desenvolvido pelo prof. Elemar Antonino Cassol (UFRGS), para calcular a energia cinética segundo Wischmeier & Smith (1978), conforme equação (7). Neste programa, as unidades das equações de energia cinética são convertidas para o Sistema Internacional de Unidades.

$$E = 0,119 + 0,0873 \log I, \text{ onde:} \quad (7)$$

E = energia cinética, $\text{MJ ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$; e
 I = intensidade da chuva, mm h^{-1} .

Esta equação é aplicável para intensidades de chuvas com até 76 mm h^{-1} . Acima desse limite de intensidade, a energia cinética por milímetro de chuva é constante, sendo de $0,2832 \text{ MJ ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$.

Para a determinação do fator K para USLE e RUSLE foi realizada a razão entre a perda de solo observada na parcela de 22 m (parcela padrão) e o índice de erosividade (EI_{30}) obtido para o ano experimental.

Os valores do fator L para a USLE e RUSLE foram calculados de acordo com a equação (2); O expoente m da equação (2) foi de 0,5 para a USLE e calculado de acordo com a equação (3) para a RUSLE, enquanto, os valores de β na equação (3) foram calculados de acordo com a equação (4).

O fator S para USLE foi obtido através da equação (5). Para o cálculo do fator S para RUSLE foi utilizada a equação:

$$S = 10,8 \sin \theta + 0,03, \text{ onde:} \quad (8)$$

S = fator grau do declive; e

θ = ângulo do declive.

6.9 Delineamento Experimental e Tratamento Estatístico dos Dados

O experimento foi instalado utilizando o delineamento de parcelas distribuídas inteiramente ao acaso, com duas repetições por tratamento. Os dados de perdas de água e solo por erosão hídrica foram submetidos à análise de variância e as médias, quando diferidas entre tratamentos, comparadas pelo Teste de Tukey a 5 % de significância, através do programa estatístico ASSISTAT 7.7 Beta (2015). Foram relacionados graficamente: perdas de solo com perdas de água; perdas de solo com EI_{30} ; perdas de água com altura de chuva; fator L da USLE com perdas de solo observadas; fator L da RUSLE com perdas de solo observadas; perdas de solo estimadas pela USLE com perdas de solo observadas; perdas de solo estimadas pela RUSLE com perdas de solo observadas e perdas

de solo estimadas pela USLE com perdas de solo estimadas pela RUSLE.

7 RESULTADOS E DISCUSSÃO

7.1 PROPRIEDADES QUÍMICAS DO SOLO

Os valores de algumas propriedades químicas do solo, obtidas em amostras coletadas antes do início do experimento e após o seu término, estão apresentados na Tabela 1. Em geral, houve modificação nos dados entre um e outro momento, no entanto, para algumas das propriedades sem um padrão definido em termos de tendência, nem de diminuição, nem de aumento. Essa falta de tendência nesses dados pode ser justificada, em parte, devido às modificações ocasionadas no solo pela erosão hídrica e em parte, pela liberação de nutrientes devido ao efeito da decomposição das raízes do milho, cultivado antes de instalar a pesquisa, que permaneceram no solo. Vale lembrar que o milho havia sido semeado em linhas longitudinais ao comprimento da parcela (três linhas por parcela). Assim, dentro de cada parcela, as raízes do milho influenciaram a composição química do solo apenas na região das linhas.

Ao longo de um ano de experimento, o solo foi movimentado pela erosão, em sua superfície, ora sendo exportado para fora das parcelas, ora, sendo depositado na superfície em algum lugar dentro delas. Assim, é dificultada a comparação de valores da maioria dessas propriedades, entre os dois momentos de avaliação. O efeito da erosão, especialmente na camada mais superficial do solo, foi notado, em alguns casos, devido à remoção do solo e, em outros casos, devido à acumulação do mesmo em algum ponto no terreno (observação visual da autora).

Tabela 1. Algumas propriedades químicas do solo nos diferentes tratamentos (Trat) e nas camadas (Cam) do solo, determinadas em amostras do solo coletadas antes da instalação dos tratamentos (An) e após o término da pesquisa (Ap) (média das repetições).

Trat e Cam	pH				P Mehlich				K				C.O.				Ca				Mg			
	An	Ap	Cv	An	An	Ap	Cv	An	Ap	Cv	An	Ap	Cv	An	Ap	Cv	An	Ap	Cv	An	Ap	Cv		
cm	H2O (1:1)	%	mg dm ⁻³	%	mg dm ⁻³	%	mg dm ⁻³	%	mg dm ⁻³	%	mg dm ⁻³	%	cmol dm ⁻³	%	cmol dm ⁻³	%	cmol dm ⁻³	%	cmol dm ⁻³	%	cmol dm ⁻³	%		
1 0 - 2,5	5,9	6,2	7,9	16,4	28,4	83,8	100,5	152,5	48,7	2,1	2,8	20,4	8,9	8,7	15,3	3,6	3,1	7,6						
1 2,5-5	6,1	6,0	6,5	19,2	20,9	74,9	71,0	87,5	69,2	2,2	2,5	21,8	8,8	7,2	13,1	3,8	2,7						3,3	
1 5-10	5,9	6,1	3,1	16,3	24,5	99,2	13,5	82,5	47,0	2,2	1,5	16,3	9,6	8,9	14,6	3,9	3,3	6,2						
1 10-20	6,1	6,2	6,4	9,1	23,1	96,3	18,5	87,0	17,7	1,9	1,4	11,2	8,6	8,3	9,0	3,6	3,2	1,4						
2 0 - 2,5	6,3	6,3	5,4	14,6	22,8	50,0	93,0	192,0	44,1	2,0	1,5	19,9	8,7	8,7	16,7	3,7	3,5	13,9						
2 2,5-5	6,4	6,6	10,1	20,3	24,9	72,8	29,5	156,5	54,0	2,0	1,3	15,7	9,6	8,3	7,1	4,2	3,4	8,1						
2 5-10	6,3	6,7	3,9	15,7	23,7	95,5	19,5	120,0	64,6	1,9	1,5	3,4	9,3	9,8	4,2	3,9	4,1	10,0						
2 10-20	6,4	6,8	2,3	46,9	16,6	98,2	45,0	87,5	46,6	2,0	1,5	9,2	10,1	8,6	11,0	3,8	3,8	3,2						
3 0 - 2,5	6,2	6,1	4,6	36,0	20,8	71,7	147,0	123,0	29,1	2,0	1,5	15,3	8,7	8,1	21,9	3,8	3,2	16,2						
3 2,5-5	6,4	6,2	6,2	38,5	21,9	45,4	67,0	136,5	64,4	1,9	1,4	8,3	9,6	8,1	13,7	4,0	3,3	15,8						
3 5-10	6,2	6,1	4,1	31,1	13,9	33,3	44,0	123,5	34,3	2,0	1,1	6,7	8,7	6,3	2,7	3,5	2,8	0,9						
3 10-20	6,1	6,1	9,5	11,9	15,8	53,3	29,0	74,5	40,7	1,8	1,2	24,2	7,6	7,0	29,5	3,4	3,0	16,1						
4 0 - 2,5	6,0	5,9	1,8	24,9	14,3	19,3	145,5	140,5	11,4	2,0	1,8	33,6	8,4	7,4	7,4	3,6	2,7	8,0						
4 2,5-5	6,0	6,0	1,6	25,6	15,2	27,6	77,5	127,0	11,9	1,9	1,5	14,7	8,3	7,5	5,9	3,6	3,1	3,3						
4 5-10	6,0	5,9	2,5	29,5	14,3	42,7	44,5	113,5	28,0	2,0	1,3	5,4	8,8	7,3	5,5	3,6	2,8	11,8						
4 10-20	5,8	5,7	4,3	11,6	18,4	93,9	26,5	87,0	20,4	1,6	2,1	58,5	7,0	5,5	17,3	3,4	3,0	9,2						

Fonte: Laboratório de Análise de Solos – LAS, UDESC/CAV, 2015

Os maiores teores de P observados no final do período experimental (Tabela 1) podem ser justificados devido à adubação com Superfosfato Triplo após a primeira coleta de solo para sua caracterização química, conforme relatado em Material e Métodos. É interessante observar, no entanto, que, nos tratamentos 1 e 2 (declives com comprimentos de 11 m e 22 m), o teor de P no solo foi 40% maior ao final do período experimental do que no seu início, na média dos tratamentos e da camada de 0-5 cm (Tabela 1). Na média da mesma camada e dos tratamentos 3 e 4 (declives com 22 e 44 m de comprimento), no entanto, o teor deste elemento foi 74% maior no início do que no final do período experimental. Isto significa que, na medida em que aumentou o comprimento do declive, aumentou a remoção de sedimentos para fora da área de controle (parcela) pela erosão hídrica e, consequentemente, o P a eles adsorvido.

O teor de espécies químicas na enxurrada em geral é alto na erosão oriunda de áreas manejadas sem preparo mecânico e adubadas (Barbosa et al., 2009; Engel et al., 2009; Miras Ávalos et al., 2009), devido ao transporte da camada de solo superficial, mais rica em espécies químicas e sedimentos orgânicos. Com isso, nessas circunstâncias, a erosão se caracteriza por constituir-se predominantemente de sedimentos minerais e orgânicos de natureza coloidal, os quais têm alta capacidade de adsorção de espécies químicas (Favaretto, 2002; Hart et al., 2004).

O P é um elemento pouco solúvel na água, mas fortemente adsorvido aos sedimentos (McIsaac et al., 1995). A diferença nos teores de fósforo, entre o material de erosão e o solo de onde a mesma se originou, caracteriza uma taxa de enriquecimento, conforme verificado por Schick et al. (2000). Estes autores concluíram que os teores de fósforo extraível nos sedimentos da erosão correlacionaram-se linear e positivamente com a composição química na camada de 0-2,5

cm de profundidade do solo, do qual se originaram os sedimentos.

Trabalhando num Cambissolo Húmico, sob rotação de culturas, Bertol (1994) verificou que as perdas totais de P foram maiores no solo sem cultivo (descoberto) do que no solo cultivado em preparo convencional, cultivo mínimo e semeadura direta. A principal razão para esse comportamento, no caso do P, foi a variação nas perdas de solo e água entre os tratamentos estudados.

No caso do potássio, considerando os quatro tratamentos e a camada de 0-5 cm, o valor médio foi 52% maior ao final do período experimental do que no seu início (Tabela 1). Isto significa que, apesar da remoção deste elemento pela erosão hídrica, o solo manteve a capacidade de reposição de potássio devido ao estoque contido no solo e à capacidade de troca do mesmo.

A decomposição das raízes de milho também pode ter contribuído para o aumento nos teores de potássio observados no final do período experimental. Calonego et al. (2012) avaliando a liberação de nutrientes de resíduos vegetais de milho, concluíram que o potássio foi o elemento com maior liberação acumulada entre os elementos avaliados. Giacomini et al. (2003) também observaram liberação de potássio do tecido vegetal de aveia, ervilhaca e nabo forrageiro, com taxa de liberação em torno de 4,5 vezes maior do que a do fósforo. Sorato & Cruscio (2007) relatam que o potássio é o nutriente mais solúvel nos extratos dos resíduos vegetais. Ao final do período experimental ainda era possível perceber que as raízes do milho não haviam se decomposto totalmente. De acordo com Bertol (1998), a persistência de $12,9 \text{ t ha}^{-1}$ do resíduo de milho, na sua parte aérea, é de 570 dias sobre o Cambissolo Húmico em Lages, dessa forma, nutrientes ainda poderiam estar sendo disponibilizados ao solo ao final do período experimental.

7.2 PROPRIEDADES FÍSICAS DO SOLO

A caracterização física do solo da área experimental foi realizada antes do início do experimento e após o seu término. Nas Tabelas 2 e 3 estão apresentados os dados de densidade, porosidade total, macroporosidade e microporosidade do solo.

Tabela 2. Valores de densidade, macroporosidade, microporosidade e porosidade total do solo, nos diferentes tratamentos (Trat) e nas camadas (Cam) do solo, obtidos em amostras coletadas antes da instalação dos tratamentos (An) e após o término da pesquisa (Ap) (média das repetições).

Trat	Cam	Densidade			Porosidade total			Macroporosidade			Microporosidade					
		An	Ap	CV	An	Ap	CV	An	Ap	CV	An	Ap	CV			
		(cm)	kg dm ⁻³	 %											
11 m	0-2,5	1,2	1,1	9,5	66,1	60,7	6,2	28,6	28,3	5,7	37,4	32,4	12,2			
	2,5-5	1,1	1,1	0,9	63,0	58,5	2,2	21,1	20,2	11,4	41,9	38,3	9,2			
	5-10	1,0	1,2	5,4	59,4	56,7	0,4	19,4	14,3	4,7	40,0	42,3	1,9			
	10-20	1,2	1,2	11,6	59,3	56,3	4,3	16,6	19,7	70,7	42,7	36,7	26,6			
22 m	0-2,5	1,2	1,1	1,3	66,2	62,5	3,6	32,2	31,1	6,9	34,0	31,5	4,7			
	2,5-5	1,1	1,1	15,4	68,0	62,2	3,3	28,0	25,8	3,2	40,0	36,4	3,5			
	5-10	1,3	1,2	4,2	56,9	56,9	3,3	14,5	14,4	41,1	42,5	42,6	13,7			
	10-20	1,3	1,3	13,7	56,5	55,5	3,6	16,3	11,0	39,2	40,1	44,5	8,2			
33 m	0-2,5	1,3	1,1	9,1	59,2	66,2	6,7	20,4	34,7	11,5	38,8	31,5	4,1			
	2,5-5	1,2	1,2	14,6	61,0	60,7	4,7	20,9	22,6	26,7	40,1	38,1	9,7			
	5-10	1,2	1,3	16,4	60,3	55,9	6,7	19,6	12,6	40,5	40,7	43,3	10,8			
	10-20	1,3	1,2	7,4	56,8	56,5	5,8	12,3	16,2	35,2	44,5	40,2	6,5			
44 m	0-2,5	1,2	1,1	5,8	65,7	60,8	4,3	28,9	29,3	13,1	36,8	31,4	3,2			
	2,5-5	1,1	1,1	1,2	61,2	59,5	3,0	23,8	22,6	6,1	37,4	36,9	1,0			
	5-10	1,3	1,3	5,5	57,7	57,9	1,5	17,0	14,1	11,4	40,7	43,8	2,4			
	10-20	1,3	1,2	5,8	53,9	57,3	5,4	9,3	12,3	34,3	44,5	45,0	7,3			

Fonte: Própria autora, 2016

Tabela 3. Valores de densidade (Ds), porosidade total (Pt), macroporosidade (Macro) e microporosidade (Micro) do solo, nos diferentes tratamentos por camada, obtidos em amostras coletadas antes da instalação dos tratamentos (An) e após o término da pesquisa (Ap) (média das repetições).

Tratamento	Ds		PT		Macro		Micro	
	An	Ap	An	Ap	An	Ap	An	Ap
Camada 0 -2,5 cm								
	kg dm ⁻³		%.....
11 m	1,2	1,1	66,1	60,7	28,6	28,3	37,4	32,4
22 m	1,2	1,1	66,2	62,5	32,2	31,1	34,0	31,5
33 m	1,3	1,1	59,2	66,2	20,4	34,7	38,8	31,5
44 m	1,2	1,1	65,7	60,8	28,9	29,3	36,8	31,4
CV (%)	6,2	8,4	4,3	6,3	12,0	7,2	7,2	7,0
Camada 2,5 -5 cm								
11 m	1,1	1,1	63,0	58,5	21,1	20,2	41,9	38,3
22 m	1,1	1,1	68,0	62,2	28,0	25,8	40,0	36,4
33 m	1,2	1,2	61,0	60,7	20,9	22,6	40,1	38,1
44 m	1,1	1,1	61,2	59,5	23,8	22,6	37,4	36,9
CV (%)	14,6	4,9	3,8	3,0	18,8	5,4	8,6	4,9
Camada 5 - 10 cm								
11 m	1,0	1,2	59,4	56,7	19,4	14,3	40,0	42,3
22 m	1,3	1,2	56,9	56,9	14,5	14,4	42,5	42,6
33 m	1,2	1,3	60,3	55,9	19,6	12,6	40,7	43,3
44 m	1,3	1,3	57,7	57,9	17,0	14,1	40,7	43,8
CV (%)	12,6	4,5	4,6	2,7	29,6	26,6	9,9	8,0
Camada 10 – 20 cm								
11 m	1,2	1,2	59,3	56,3	16,6	19,7	42,7	36,7
22 m	1,3	1,3	56,5	55,5	16,3	11,0	40,1	44,5
33 m	1,3	1,2	56,8	56,5	12,3	16,2	44,5	40,2
44 m	1,3	1,2	53,9	57,3	9,3	12,3	44,5	45,0
CV (%)	12,6	6,3	4,2	5,4	34,2	65,6	6,6	19,1

Fonte: Própria autora, 2016

Houve baixa modificação nos valores dos dados referentes às propriedades físicas do solo, não sendo possível observar-se um padrão, nem de aumento, nem de diminuição (Tabelas 2 e 3), do mesmo modo como observado para algumas propriedades químicas recém-discutidas (Tabela 1). Segundo Bertol et al. (2004), o cultivo do solo promove alterações nas propriedades físicas em relação ao solo não cultivado. Ademais, de acordo com Ferreira (2010), a estrutura do solo é um atributo dinâmico, fortemente influenciado pela atividade biológica, notadamente dependente de práticas e de sistemas de manejo do solo.

O solo foi mantido sem cultivo e sem cobertura vegetal, neste experimento, tendo sido mantidas apenas as raízes do milho cultivado antes de instalar a pesquisa. Portanto, houve pequena influência das plantas nas propriedades físicas do solo avaliadas. As raízes são particularmente eficientes na abertura de bioporos pelas raízes, incorporação de material orgânico e estímulo à biota do solo. Isto pode explicar, pelo menos em parte, a pequena modificação nos valores dos dados físicos ao longo de um ano de período experimental. Além disso, a alteração das propriedades físicas do solo raramente é observada em espaço de tempo tão curto como o da presente pesquisa.

Nas Tabelas 2 e 3, é possível observar que os valores de densidade do solo eram baixos antes da instalação da pesquisa e assim se mantiveram até o seu final, praticamente sem modificação. Apenas na camada de 0-2,5 cm houve leve tendência de aumento no valor desta variável entre o início e o final do período da pesquisa. Segundo Kiehl (1979) *apud* Andrade & Stone (2008), a densidade do solo se situa no intervalo de 1,1 a 1,6 Mg m⁻³ em solos minerais e assume valores superiores a 1,6 Mg m⁻³ em solos arenosos. A baixa variação na densidade ocorreu devido ao curto espaço de tempo de cultivo ocorrido entre a sistematização do solo e consequente início de cultivo do mesmo e a instalação da

presente pesquisa, conforme descrito em Material e Métodos. Os valores de porosidade total, macroporosidade e microporosidade, podem ser explicados pelo revolvimento do solo anteriormente à instalação da pesquisa. De acordo com Kiehl (1979) *apud* Andrade & Stone (2008), o solo ideal para a produção agrícola deve apresentar porosidade total próxima a 50%.

Os valores de diâmetro médio ponderado de agregados são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4. Valores de diâmetro médio ponderado de agregados, nos diferentes tratamentos e nas camadas do solo, obtidos em amostras coletadas antes da instalação dos tratamentos (An) e após o término da pesquisa (Ap) (média das repetições).

Camada	11 metros			22 metros			33 metros			44 metros		
	An	Ap	CV	An	Ap	CV	An	Ap	CV	An	Ap	CV
Cm	mm	%		mm	%		mm	%		mm	%	
0-2,5	5,0	5,1	6,7	4,7	4,7	11,5	4,4	5,3	4,0	4,7	5,2	1,6
2,5-5	5,3	5,0	6,7	5,5	5,0	4,4	5,3	5,2	4,6	5,2	4,8	2,5
5-10	4,9	4,8	5,7	5,1	4,7	2,8	5,3	4,8	3,0	5,1	4,8	4,0
10-20	5,2	4,6	9,3	5,2	5,1	4,2	5,1	4,8	7,0	4,9	4,8	6,0

Fonte: Própria autora, 2016

A baixa variação nos valores de diâmetro médio ponderado de agregados (DMP), entre o início e o término da pesquisa, também pode ser justificado como para o caso das propriedades físicas recém discutidas. A ausência de cultivo do solo durante o período experimental, fez com que o teor de carbono orgânico, dependente dos resíduos culturais e da matéria orgânica do solo, pouco influenciasse a cimentação do solo, conforme Reinert & Reichert (2006).

Além disso, de acordo com Bertol et al (2001), a falta de significância na diferença do DMP com a profundidade, pode estar relacionada com o período de tempo

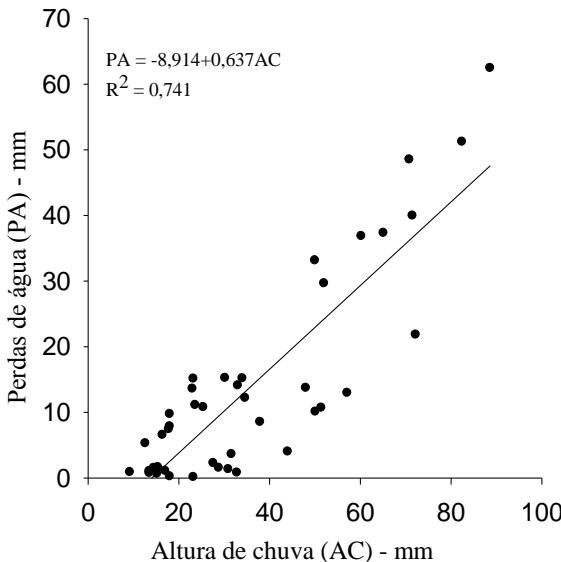
relativamente curto de condução do experimento, para que tal diferença seja expressa em maior magnitude.

7.3 PERDAS DE ÁGUA E SOLO

Durante o período experimental ocorreram 41 chuvas erosivas, totalizando 1.349 mm. O potencial de erosividade (EI_{30}) destas chuvas, representado pelo produto entre a energia cinética de cada chuva e a intensidade máxima em 30 minutos dentro da mesma chuva, apresentou um valor de 6.066 MJ mm $ha^{-1} h^{-1} ano^{-1}$ durante o ano que transcorreu o experimento. Este valor foi 20% maior do que o valor médio anual de um período de 24 anos determinado por Schick et al. (2014) para este mesmo local. Esses valores de EI_{30} enquadram-se na faixa entre 5.000 e 12.000 MJ mm $ha^{-1} h^{-1} ano^{-1}$ que normalmente ocorre no Brasil, de acordo com Cogo (1988).

A relação linear entre as perdas de água e a altura de chuva, considerando os valores individuais de cada uma dessas variáveis, na média dos tratamentos, está apresentada na Figura 2. O aumento das perdas de água por escoamento superficial relacionou-se significativamente com o aumento da altura de chuva, demonstrando que o escoamento superficial é dependente da infiltração de água no solo, cuja variável, portanto, é uma característica do solo que regula sua capacidade de infiltração, conforme Kohnke (1968). Isto significa que, quanto maior a altura de chuva, maior o risco de erosão hídrica devido ao aumento de enxurrada, conforme verificado por Bertol et al. (2014).

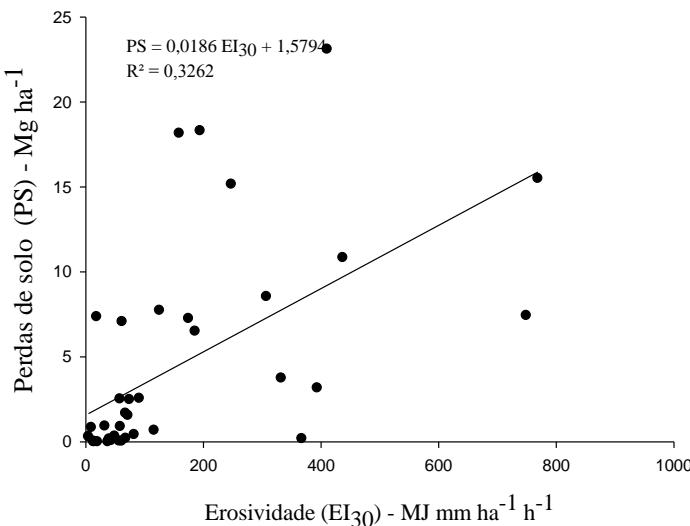
Figura 2. Relação entre as perdas de água (média dos tratamentos e das repetições) e altura de chuva, considerando os dados individuais de cada evento.



fatores, podem fazer aumentar as perdas de solo mais expressivamente do que a erosividade de uma única chuva por si só, conforme demonstrado por Eltz (1977).

Na Figura 3, os pontos situados acima da linha de tendência significam que chuvas de menor erosividade ocasionaram maior perda de solo, enquanto, os pontos abaixo da referida linha significam que chuvas de maior erosividade ocasionaram menor perda de solo. Esta é uma clara demonstração de que o teor de água no antecedente às chuvas é um dos principais fatores determinantes da variação de infiltração de água no solo e, por conseguinte, do escoamento superficial e das perdas de solo por erosão hídrica, considerando estáticos os demais fatores que influenciam a erosão, conforme demonstrado por Istok & Boersma (1986).

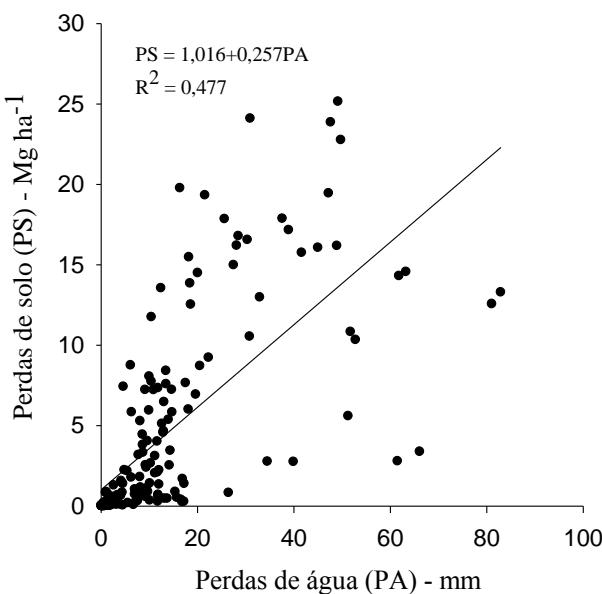
Figura 3. Relação entre as perdas de solo (média dos tratamentos e das repetições) e erosividade (Ei_{30}) das chuvas, considerando os dados individuais de cada evento.



Fonte: Própria autora, 2016

As perdas de solo podem ser explicadas pelas perdas de água (Figura 4), como verificado também por Schick (2014). O escoamento superficial (perdas de água) está associado ao impacto das gotas de chuva na composição do potencial erosivo das chuvas (EI_{30}), conforme Wischmeier & Smith (1958). Por isso, na condição de solo sem cultivo e descoberto, como foi o caso da pesquisa, o escoamento explicou razoavelmente bem as perdas de solo, mais do que poderia ocorrer em condição de solo cultivado e coberto por resíduos culturais, conforme também verificado por Schick (2014).

Figura 4. Relação entre as perdas de solo e as perdas de água, considerando os dados coletados em cada tratamento e em cada chuva erosiva (média das repetições).



Fonte: Própria autora, 2016

As perdas de solo quantificadas durante o período experimental apresentaram valores numericamente mais altos nos maiores comprimentos de declive quando comparadas aos declives de menor comprimento, como pode ser visualizado na Tabela 5. No tratamento em que o comprimento de declive era de 11 m, as perdas de solo totalizaram $153 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, enquanto, no tratamento onde o referido comprimento era de 44 m, as referidas perdas foram de $201 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$. No entanto, apesar do aumento nos valores absolutos de perda de solo conforme o aumento do comprimento do declive, não houve diferença estatística entre os tratamentos.

A duplicação de comprimento do declive de 11 m para 22 m proporcionou um aumento de 9,2 % nas perdas de solo (Tabela 5), inferior, portanto, ao aumento referido por Wischmeier & Smith (1978) que segundo estes autores, deveria ser de no mínimo 20%. Comparando-se os tratamentos com comprimentos de declive de 22 m e 44 m, a duplicação do comprimento, neste caso, resultou em um aumento de perdas de solo de 20%, de acordo com o aumento mínimo sugerido pelos autores recém citados. Para esses autores, ao duplicar o comprimento de declive, as perdas de solo devem aumentar, em média, 50%, podendo este percentual variar de 20% a 80%. Esse comportamento de aumento das perdas de solo com o aumento do comprimento de declive resulta em uma relação potencial, do tipo $y = x^b$, em que o valor de b varia de 0,2 a 0,8 sendo, em média, igual a 0,5 segundo Wischmeier & Smith (1978). Este aumento na erosão com o aumento do comprimento de declive é explicado pelo aumento da capacidade erosiva do escoamento superficial, determinado principalmente pelo aumento de volume e de velocidade.

Tabela 5. Valores de perdas de solo total, nos diferentes tratamentos, obtidas no período de 04/07/2014 a 18/06/2015 (média das repetições).

Tratamento	Perda de solo
Mg ha ⁻¹	
11 m	153
22 m	167
33 m	183
44 m	201
CV (%)	18

Fonte: Própria autora, 2016

Outros estudos, além dos de Wischmeier & Smith (1978), realizados antes e após estes autores, confirmam que existe uma relação potencial entre o aumento da massa de solo perdida por unidade de área e o aumento do comprimento do declive. No Brasil, estudos conduzidos por Bertoni et al. (1972) em Campinas (SP), observaram aumento de 1,4 e 1,6 vezes quando duplicado o comprimento de declive de 25 m para 50 m e de 50 m para 100 m, em parcelas com declividade entre 6,5 e 7,5% e precipitação média de 1300 mm. De acordo Zingg (1940), duplicando o comprimento horizontal de declive a perda total de solo aumenta 3,03 vezes.

Numa pesquisa conduzida por Bagarello & Ferro (2010), realizada na Itália em condição de chuva natural, os autores estudaram comprimentos de declive de 0,25; 0,4; 1; 2; 5; 11; 22; 33 e 44 m, em condição solo sem cultivo e descoberto, no qual contabilizaram um total de 40 eventos de chuva erosiva durante 10 anos de experimentação. As perdas totais de solo não variaram significativamente com o comprimento do declive. A justificativa apresentada pelos autores foi de que o aumento do comprimento de declive teve um efeito moderado no aumento da taxa de erosão em sulcos e um efeito apreciável na taxa de erosão entre sulcos. Portanto, para os autores, a relação detectada entre as perdas de solo e o comprimento de declive, pura e simples, nas condições

avaliadas, não foi suficiente para explicar a relação potencial que deveria ocorrer, segundo Wischmeier & Smith (1978), entre essas duas variáveis.

Em trabalhos realizados sob condição de chuva natural, com solo descoberto na Guatemala e na Nigéria, Lal (1984) e Akeson & Singer (1984) observaram que a erosão do solo aumentou com o aumento do comprimento de declive. No entanto, resultados com comportamento diferente destes foram encontrados por Rejman et al. (1999) *apud* Bagarello & Ferro (2010). Estes autores examinaram o efeito do comprimento de declive na perda de solo durante um período de quatro meses, sobre um solo siltoso com superfície descoberta, com declividade de $0,012 \text{ m m}^{-1}$; considerando comprimentos declives de 5 m; 10 m; e 20 m, a perda de solo diminuiu com o aumento do comprimento de declive.

No experimento em questão, o tratamento de 22 m de comprimento de declive apresentou perda de solo de 167 Mg ha^{-1} (Tabela 5), sob erosividade de $6.066 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$. Neste tratamento, as duas parcelas tinham o mesmo comprimento da parcela padrão dos experimentos de chuva natural cujos dados geraram a USLE (Wischmeier & Smith, 1978) e com cujos dados é possível calcular a erodibilidade do solo (fator K da USLE), já que nessa condição a erosão hídrica é potencializada. Schick (2014), trabalhando com dados de 20 anos de um experimento em Lages (SC), no mesmo solo da presente pesquisa, computou perda de solo média anual de $85,3 \text{ Mg ha}^{-1}$ sob erosividade média anual de $4.883 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$, para um tratamento em solo sem cultivo e descoberto em que as duas parcelas tinham 22 m de comprimento. Porém, cabe ressaltar que este valor de perda de solo é a média de 20 anos e que, nas parcelas nas quais este autor pesquisou, o solo foi submetido a preparo mecânico com uma aração + duas gradagens, duas vezes ao ano. Assim, a perda de solo total observada neste experimento, no tratamento com 22 m de comprimento, foi 2,18 vezes maior que a média histórica para

região obtida por Schick (2014). Isto pode ser explicado, em parte, pela maior erosividade ocorrida entre 2014 e 2015, comparada com a média histórica. Além disso, o não revolvimento do solo e o fato de ter sido esse o primeiro ano de avaliação experimental nesse local, foram condições que facilitaram o transporte de solo prontamente disponível ao transporte pela erosão. Sabidamente, na medida em que a erosão do solo progride temporalmente, a quantidade de solo prontamente disponível ao transporte pela erosão diminui, além disso, ocorre um decréscimo no incremento nas perdas de solo, conforme demonstrado por Schick (2014).

A largura estabelecida para as parcelas avaliadas por Schick (2014) é de 3,5 m, enquanto, a largura das parcelas deste experimento contém 2 m. Bagarello et al. (2011) concluíram que não houve diferença entre tratamentos em que as parcelas tinham largura variável entre 2 e 8 m, sugerindo que parcelas estreitas podem gerar resultados satisfatórios com uma redução substancial no esforço experimental.

Em Lavras (MG), Silva et al. (2009) obtiveram perdas anuais de solo de 175 Mg ha^{-1} , em um Cambissolo Háplico submetido à erosividade anual média de $4.865 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$. Beutler et al. (2003), em Chapecó (SC), verificaram perdas anuais de solo de $71,16 \text{ Mg ha}^{-1}$ na parcela padrão da USLE, para um Latossolo Vermelho, com erosividade média anual de $11.005 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$.

Para a mesma área experimental da presente pesquisa, Schick (2014) encontrou para o tratamento cultivado sob semeadura direta, perda de solo média de $0,82 \text{ Mg ha}^{-1}$, em 20 anos de experimento. Quando comparamos a perda de solo no tratamento em condição de semeadura direta, com a perda de solo no tratamento de 22 m deste experimento (Tabela 5), ambos com o mesmo comprimento de declive, percebe-se que no tratamento sob semeadura direta há uma redução de 99,5% na perda média de solo observada, evidenciando a importância da cobertura vegetal na redução das perdas de solo. De acordo

com o autor, a proteção dada ao solo pelas culturas utilizadas no tratamento de semeadura direta, juntamente com os resíduos remanescentes, protegem a superfície do impacto direto das gotas das chuvas e servem como barreiras à enxurrada. Também as raízes, juntamente com a ação biológica de microrganismos, provavelmente, aumentam a resistência do solo à ação da enxurrada, diminuindo as perdas de solo.

Bertol & Almeida (2000) estabeleceram o limite de tolerância de perda de solo de $9,6 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ para o Cambissolo Húmico deste experimento. A tolerância de perda de solo por erosão refere-se a um limite de perda que mantenha o nível de produtividade das culturas e é baseado na profundidade efetiva do solo e a relação textural entre os horizontes A e B, podendo levar em consideração também os teores de argila e matéria orgânica e o grau de permeabilidade do solo. Os valores de perda de solo para os tratamentos de 11 m, 22 m, 33 m e 44 m, foram respectivamente 16, 17, 19 e 20 vezes maiores do que este limite de tolerância, evidenciando que o sistema de uso da terra e de manejo do solo adotado na pesquisa não é sustentável e não deve ser recomendado.

As perdas de água não diferiram estatisticamente entre os tratamentos e estão apresentadas na Tabela 6. Houve variação numérica entre os tratamentos, porém, em magnitude inferior à das perdas de solo. Esse comportamento é explicado pelo fato de que o solo apresenta um limite de infiltração de água, de acordo com sua capacidade e a partir deste limite, a água é igualmente perdida por escoamento superficial, independentemente das demais condições. O tratamento em que o comprimento de declive era de 11 m apresentou perda de água de 28,9% em relação à altura de chuva, seguido de 30,3% no tratamento de 22 m, 41,8% no tratamento de 33 m e 42,0% no tratamento de 44 m.

Tabela 6. Valores de perdas de água, nos diferentes tratamentos, obtidas no período de 04/07/2014 a 18/06/2015 (média das repetições).

Tratamento	Perdas de água
	%
11 m	28,9
22 m	30,3
33 m	41,8
44 m	42,0
CV (%)	32,4

Fonte: Própria autora, 2016

A menor variação nas perdas de água em relação à variação de perdas de solo, também foi verificada em trabalhos realizados com diferentes cultivos e preparos de solo por Schick et al. (2000), Cogo et al. (2003), Beutler et al. (2003) e Schick et al. (2014).

Lal (1983), em um trabalho realizado na Nigéria para detectar a influência do comprimento do declive no escoamento superficial em parcelas em que o solo era descoberto, constatou que, em geral, o comprimento de declive teve um efeito negativo sobre a quantidade total de escoamento de água, ou seja, o escoamento superficial diminuiu com um aumento no comprimento de declive. Nos EUA, Zingg (1940), em uma compilação de dados de vários experimentos realizados durante 20 anos com chuva simulada, também constatou que o aumento do comprimento do declive diminuiu o escoamento superficial.

No Brasil, resultados encontrados por Bertoni et al (1972) mostraram que as perdas de água diminuíram com o aumento do comprimento do declive, apresentando perda de água de 13,6% no comprimento de 25 m, 10,7% no comprimento de 50 m e 2,6% no comprimento de 100 m. Entretanto, Silva (2011), constataram que em solo cultivado sob semeadura direta, as perdas de água aumentaram, porém

em magnitude menor por unidade de área nos maiores comprimentos de declive (75 m), do que nos comprimentos de declive menores (25 e 50 m). A redução na taxa de aumento das perdas de água por unidade de área, nas pendentes mais longas em relação às mais curtas, pode ser devido à maior possibilidade que a água tem de infiltrar no solo ou evaporar nas pendentes de maior comprimento, em virtude do aumento do percurso percorrido pela enxurrada na superfície e do consequente contato com o solo. Mas, principalmente, porque nas pendentes mais longas aumenta a variação de declividade do terreno em relação às mais curtas.

Na tabela 7 estão apresentados os valores de altura de chuva, índice de erosividade (EI_{30}) e perdas de solo, por estação do ano. As perdas de solo foram numericamente maiores no verão, com 49,5% do total anual, seguidas da primavera, com 35,8%, do outono com 14,4% e do inverno com 0,3%.

A altura de chuva na estação do verão correspondeu a 31,4% do total anual, seguida por 31,8% na primavera, 24,9% no outono e 11,9% no inverno. Apesar da maior altura de chuva observada na estação da primavera, as maiores perdas de solo no período do verão podem ser justificadas pelo maior índice de erosividade (EI_{30}) observado nesta estação, que apresentou 42,6% do total anual, seguido de 28,4% na primavera, 19,8% no outono e 9,2% no inverno.

A altura de chuva e o índice EI_{30} no período primavera/verão representaram, respectivamente, 63% e 70% do total anual (Tabela 7), justificando as maiores perdas de solo que, nestas estações, totalizaram 85% do total anual, na média dos tratamentos. A maior erosividade observada no período de primavera/verão corrobora com os resultados observados por Bertol et al. (2002b) em Lages (SC), Beutler et al. (2003) em Chapecó (SC), Bazzano et al. (2007) em Quaraí (RS), Mazurana et al. (2009) em Santa Rosa (RS), Silva & De

Tabela 7. Valores de altura de chuva (Ac), erosividade (EI_{30}) e perdas de solo (PS), nos diferentes tratamentos (Trat), obtidas em cada estação do ano (média das repetições).

Trat	Outono			Inverno			Primavera			Verão		
	Ac mm	EI_{30} $Mj\ mm\ ha^{-1}\ h^{-1}$	PS $Mg\ ha^{-1}$	Ac mm	EI_{30} $Mj\ mm\ ha^{-1}\ h^{-1}$	PS $Mg\ ha^{-1}$	Ac mm	EI_{30} $Mj\ mm\ ha^{-1}\ h^{-1}$	PS $Mg\ ha^{-1}$	Ac mm	EI_{30} $Mj\ mm\ ha^{-1}\ h^{-1}$	PS $Mg\ ha^{-1}$
11 m	336	1.204	17	160	559	0,7	429	1.721	53	424	2.583	83
22 m	336	1.204	24	160	559	0,6	429	1.721	62	424	2.583	81
33 m	336	1.204	31	160	559	0,2	429	1.721	65	424	2.583	86
44 m	336	1.204	30	160	559	0,4	429	1.721	72	424	2.583	99
CV (%)			20			87			16		22	

Fonte: Própria autora, 2016

Maria (2011) em Campinas (SP) e Schick et al. (2014) em Lages (SC).

Na Tabela 8 estão apresentados os valores de altura de chuva, índice de erosividade (EI_{30}) e perdas de água por estação do ano. No verão, as perdas de água corresponderam a 37,2% do total anual, seguidas da primavera com 36,9%, do outono com 24,0% e do inverno com 1,9%.

No período de primavera/verão as perdas de água foram numericamente maiores do que no outono/inverno, representando 74% do total anual na média entre os tratamentos. Os dados obtidos divergem dos encontrados por Schick (2000; 2014), cujos autores observaram maiores perdas de água nos cultivos do período de outono/inverno para todos os tratamentos avaliados, incluindo o solo sem cobertura. Comportamento semelhante foi encontrado por Beutler et al. (2003), que afirmaram que no outono/inverno as chuvas costumam ser mais longas e de menor intensidade, e os dias, mais curtos e amenos, diminuindo a evaporação e mantendo o solo com teores de água mais elevados, o que favorece as perdas de água por escoamento, já que o solo apresenta limite de infiltração de acordo com sua capacidade de armazenar água. Uma possível explicação para a maior perda de água no período de primavera/verão verificada neste experimento pode ser a maior precipitação observada no período, apresentando 63% do total anual e a baixa precipitação observada na estação do inverno.

Tabela 8. Valores de altura de chuva (Ac), erosividade (EI₃₀) e perdas de água (PA), nos diferentes tratamentos, obtidos em cada estação do ano (média das repetições).

Trat	Outono			Inverno			Primavera			Verão		
	Ac mm	EI ₃₀ Mj mm ha ⁻¹ h ⁻¹	PA mm	Ac mm	EI ₃₀ Mj mm ha ⁻¹ h ⁻¹	PA mm	Ac mm	EI ₃₀ Mj mm ha ⁻¹ h ⁻¹	PA mm	Ac mm	EI ₃₀ Mj mm ha ⁻¹ h ⁻¹	PA mm
11 m	336	1.204	69	160	559	11	429	1.721	132	424	2.583	137
22 m	336	1.204	133	160	559	8	429	1.721	184	424	2.583	183
33 m	336	1.204	137	160	559	7	429	1.721	195	424	2.583	199
44 m	336	1.204	111	160	559	9	429	1.721	179	424	2.583	176
CV (%)						76			31			30

Fonte: Própria autora, 2016

Na Tabela 9 são apresentados os valores de número e de altura das chuvas erosivas EI_{30} , perdas de solo e perdas de água, ao longo do período experimental, nos diferentes meses do ano. Os meses de setembro, outubro e dezembro de 2014, juntamente com janeiro de 2015, apresentaram o maior número de chuvas erosivas. Juntos, nesses meses ocorreram 51% do número de chuvas erosivas quantificadas no ano e 46% da altura de chuvas erosivas precipitadas. Para o índice EI_{30} , os meses de outubro de 2014 e janeiro de 2015 apresentaram os maiores valores acumulados, totalizando 32% do total anual.

Nos meses de setembro a janeiro ocorreram os maiores valores de perda de solo, para todos os comprimentos de declive avaliados. Estes dados corroboram com os obtidos por Schick (2014), que afirma haver uma estreita relação entre as perdas de solo e a erosividade das chuvas nos tratamentos com solo descoberto. Assim, nestas condições, os meses de janeiro a março e de setembro a dezembro são particularmente problemáticos em termos de conservação do solo, pois concentram as maiores erosividades e, consequentemente, as maiores perdas de solo. Já as perdas de água sofreram menos variação mensal que as demais variáveis analisadas, entretanto, destacam-se as maiores perdas de água ocorridas no mês de janeiro (Tabela 9).

Tabela 9. Valores de número (Nu) e altura (Ac) de chuvas erosivas, erosividade (EI_{30}), perdas de solo (PS) e perdas de água (PA), nos diferentes tratamentos, obtidos em cada mês do ano (média das repetições).

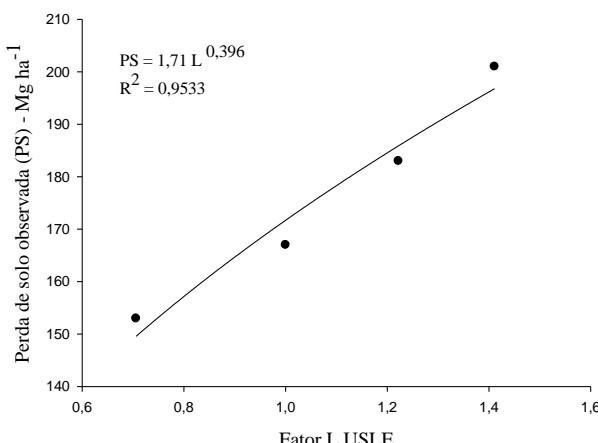
Mês/Ano	Nu	Ac	EI_{30}	11 m			22 m			33 m			44 m		
				mm	MJ mm $ha^{-1} h^{-1}$	Mg ha^{-1}	mm	Mg ha^{-1}	Mm	Mg ha^{-1}	Mm	Mg ha^{-1}	Mm	Mg ha^{-1}	Mm
jul/14	3	90,3	446,3	0,6	7,2	0,5	6,3	0,2	6,3	0,4	6,3	0,4	8,3		
ago/14	1	23,2	13,6	0,01	0,2	0,0	0,18	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1		
set/14	5	143,8	350,5	14,6	29,2	16,7	35,2	19,5	50,5	22,8	52,6				
out/14	5	166,6	908,7	17,2	57,5	19,3	46,7	20,1	65,9	20,7	64,5				
nov/14	3	132,5	497,6	20,2	38,8	25,5	41,7	25,2	60,1	28,2	60,7				
dez/14	5	113,0	266,9	21,7	30,6	18,9	36,1	19,0	47,2	18,2	46,1				
jan/15	6	193,0	1.032,1	42,0	79,2	41,8	83,0	47,7	109,9	56,3	112,9				
fev/15	3	99,5	597,8	10,6	31,8	12,9	26,8	11,5	32,3	19,1	32,1				
mar/15	3	121,0	894,8	12,2	31,1	10,8	25,8	13,8	29,4	8,9	29,4				
abr/15	3	103,1	553,2	9,9	25,7	13,5	35,5	11,1	57,2	11,4	55,9				
mai/15	2	51,4	115,5	0,7	13,8	0,7	8,0	1,2	8,8	1,05	7,5				
jun/15	2	111,6	389,4	3,0	46,3	6,0	64,4	13,0	96,8	13,7	96,7				
Soma	41	1.349,1	6.066,4	153,1	391,9	167,0	410	182,7	565,0	201,3	567,1				

Fonte: Própria autora, 2016

7.4 ESTIMATIVA DAS PERDAS DE SOLO POR EROSÃO PELA USLE E RUSLE

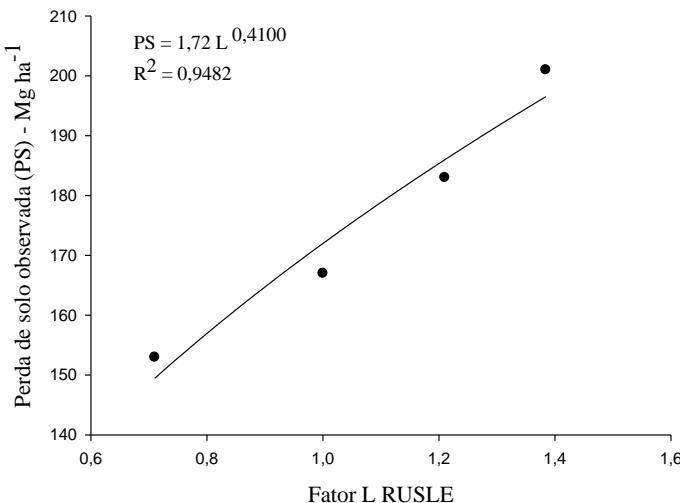
Os valores do fator comprimento de declive (fator L), calculados para o modelo de predição de perda de solo nas versões USLE e RUSLE, foram semelhantes em ambas as versões do modelo. O fator L encontrado para a USLE no comprimento de 11 m foi 0,706, no comprimento de 22 m foi 1,000, no comprimento de 33 m foi 1,222 e no comprimento de 44 m 1,411. Já para a versão RUSLE, o referido fator foi 0,710 para o comprimento de 11 m, 1,000 para 22 m, 1,210 para 33 m e 1,384 para 44 m. Nas Figuras 5 e 6 são apresentadas as relações entre os valores de perda de solo observadas nos quatro tratamentos de comprimento de declive estudados e os de fator L para os respectivos comprimentos de declive, respectivamente para as versões USLE e RUSLE do modelo.

Figura 5. Relação entre os valores de perda de solo e os de fator L da USLE, considerando os dados de perda de solo total observados em cada tratamento (média das repetições).



Fonte: Própria autora, 2016

Figura 6. Relação entre os valores de perda de solo e os de fator L da RUSLE, considerando os dados de perda de solo total observados em cada tratamento (média das repetições)



Fonte: Própria autora, 2016

Os valores do fator L calculados para as duas versões (USLE e RUSLE) do modelo de predição de perda de solo apresentaram resultados satisfatórios na relação com as perdas de solo observadas (Figuras 5 e 6). O coeficiente de ajuste mostrou que houve significância ($p<0,01$) para ambas as versões. Assim, a perda de solo observada em campo aumentou com o aumento do fator L calculado, de acordo com o que foi observado e definido por Wischmeier & Smith (1978).

Segundo esses autores, no caso da USLE, a perda de solo (PS) deve guardar a seguinte relação com o fator L, idealmente: $PS = a L^{0,5}$, para situações em que a declividade do terreno for igual ou maior do que $0,05 \text{ m m}^{-1}$. Nesta equação, **L** representa a relação entre dois comprimentos de declive, **a**, é o intercepto da relação, e representa a perda de solo observada no comprimento padrão (22,1 m) e **b**, é o expoente que representa o efeito da declividade do terreno. Assim, para os dados

observados, o valor de 0,396 para o expoente **b** encontrado na relação aproximou-se satisfatoriamente do valor de 0,5 proposto por Wischmeier & Smith (1978), para o caso da USLE.

Para o caso da RUSLE, o valor do expoente **b**, calculado segundo Renard et al. (1997), idealmente seria 0,487, para as condições do experimento, conforme demonstrado em Material e Métodos. Na Figura 6, observa-se que a equação ajustada para a perda de solo observada (**PS**) versus o fator **L** para a RUSLE, resultou num valor de **b** de 0,410, ainda melhor do que o verificado para a USLE, já que o valor de **b** encontrado no ajuste da versão RUSLE, de 0,410, aproximou-se mais do valor calculado para esta versão 0,487, do que o que foi verificado para a versão USLE. Assim, é possível afirmar que a versão RUSLE estimou melhor as perdas de solo do que a versão USLE, para as condições da presente pesquisa.

Na Tabela 10 verificam-se as perdas de solo estimadas e os fatores calculados pela USLE, para os quatro comprimentos de declive estudados. As perdas de solo estimadas pelo modelo variaram de 111 Mg ha⁻¹ para o comprimento de declive de 11 m até 185 Mg ha⁻¹ para o comprimento de 44 m. O fator R apresentou o valor de 6.066 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹, o fator K foi de 0,0275 Mg ha h ha⁻¹ MJ⁻¹ mm⁻¹, o fator L variou de 0,706 para o comprimento de declive de 11 m até 1,411 para o comprimento de 44 m e o fator S variou de 0,944 para o comprimento de declive de 11 m até 0,787 para o comprimento de 44 m. Para os fatores C e P foi atribuído o valor 1 (um), pois o solo foi mantido sem cultivo, sem cobertura vegetal e sem práticas conservacionistas de suporte, conforme preconiza a filosofia do modelo USLE.

A USLE subestimou os valores de perda de solo (Tabela 10) em relação aos valores observados (Tabela 5), para os quatro tratamentos de comprimento de declive estudados. A estimativa foi 13% menor em relação aos dados observados, na média dos tratamentos, tendo o erro dessa estimativa diminuído

com o aumento do comprimento de declive. Isto significa um erro nos valores estimados em relação aos observados e, talvez, um erro também nos dados observados. Nesse tipo de pesquisa, é normal a ocorrência de erros na quantificação das perdas de solo, notadamente na fase de coleta das amostras em campo por ocasião da ocorrência das chuvas erosivas. A predição feita pela USLE pode também não ter sido completamente coerente com os dados observados devido ao fato deste modelo ter sido desenvolvido para condições de clima temperado, portanto, diverso do clima predominante na região da presente pesquisa. Ainda, como se sabe, todo e qualquer modelo de predição de um fenômeno é uma mera aproximação da realidade, o que, por si só, poderia explicar o grau de erro entre os valores de perda de solo observados experimentalmente e os estimados pela USLE. Sabidamente, em pesquisas dessa natureza um razoável número de variáveis que influenciam o fenômeno da erosão não é adequadamente controlado experimentalmente. Apesar de tudo isso, pode-se afirmar que o modelo USLE estimou adequadamente as perdas de solo, comparando-se com os valores observados.

Tabela 10. Valores de perda de solo estimada pela USLE (A), erosividade das chuvas (fator R), erodibilidade do solo (fator K), comprimento do declive (fator L), declividade do terreno (fator S), cobertura e manejo do solo (fator C) e práticas conservacionistas de suporte (fator P), nos diferentes tratamentos (média das repetições para A).

	A	R	K	L	S	C	P
	Mg ha ⁻¹	MJ mm ha ⁻¹ h ⁻¹	Mg ha h ha ⁻¹ MJ ⁻¹ mm ⁻¹	Adimensional			
11 m	111,33	6.066,40	0,0275	0,706	0,944	1	1
22 m	149,15	6.066,40	0,0275	1,000	0,893	1	1
33 m	165,72	6.066,40	0,0275	1,222	0,812	1	1
44 m	185,43	6.066,40	0,0275	1,411	0,787	1	1

Fonte: Própria autora, 2016

Na Tabela 11 verificam-se as perdas de solo estimadas e os fatores calculados pela RUSLE, para os quatro comprimentos de declive estudados. As perdas de solo estimadas pelo modelo variaram de 111 Mg ha⁻¹ para o comprimento de declive de 11 m até 195 Mg ha⁻¹ para o comprimento de 44 m. O fator R apresentou o valor de 6.066 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹, o fator K foi de 0,0275 Mg ha h ha⁻¹ MJ⁻¹ mm⁻¹, o fator L variou de 0,710 para o comprimento de declive de 11 m até 1,384 para o comprimento de 44 m e o fator S variou de 0,934 para o comprimento de declive de 11 m até 0,844 para o comprimento de 44 m. Para os fatores C e P foi atribuído o valor 1 (um), pois o solo foi mantido sem cultivo, sem cobertura vegetal e sem práticas conservacionistas de suporte, conforme preconiza a filosofia do modelo RUSLE.

A RUSLE subestimou os valores de perda de solo (Tabela 11) em relação aos valores observados (Tabela 5), para os quatro tratamentos de comprimento de declive estudados. A estimativa foi 10% menor em relação aos dados observados, na média dos tratamentos, tendo o erro dessa estimativa diminuído com o aumento do comprimento de declive, mais do que o ocorreu com a USLE. Isto significa um erro nos valores estimados em relação aos observados e, talvez, um erro também nos dados observados, porém, esse erro foi menor do que ocorreu com a USLE. Os mesmos comentários recém feitos para a USLE quanto às razões para a ocorrência de erros de predição em relação aos dados observados são válidos também aqui para o caso da RUSLE. Apesar disso, pode-se afirmar que o modelo RUSLE estimou adequadamente as perdas de solo, melhor do que a USLE, comparando-se com os valores observados.

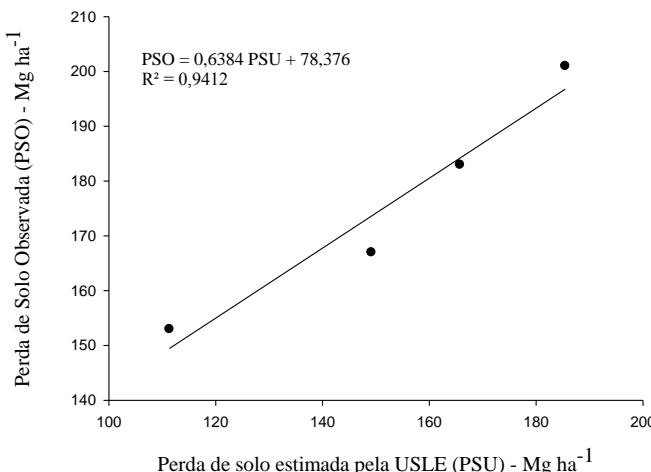
Tabela 11. Valores de perda de solo estimada pela RUSLE (A), erosividade das chuvas (fator R), erodibilidade do solo (fator K), comprimento do declive (fator L), declividade do terreno (fator S), cobertura e manejo do solo (fator C) e práticas conservacionistas de suporte (fator P), nos diferentes tratamentos (Trat) (média das repetições para A).

Trat	A	R	K	L	S	C	P
	Mg ha ⁻¹	MJ mm ha ⁻¹ h ⁻¹	Mg ha h ha ⁻¹ MJ ⁻¹ mm ⁻¹	Adimensional			
11 m	110,74	6.066,40	0,0275	0,710	0,934	1	1
22 m	152,97	6.066,40	0,0275	1,000	0,916	1	1
33 m	174,39	6.066,40	0,0275	1,210	0,863	1	1
44 m	195,07	6.066,40	0,0275	1,384	0,844	1	1

Fonte: Própria autora, 2016

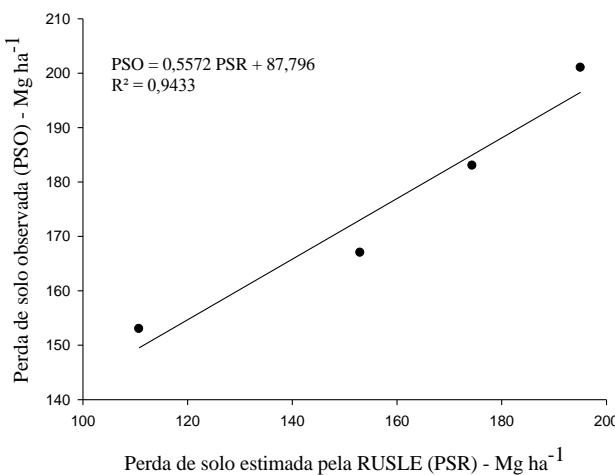
As relações entre as perdas de solo observadas e as perdas de solo estimadas são apresentadas na Figura 7 para o caso da USLE e na Figura 8 para o caso da RUSLE, para os quatro comprimentos de declive estudados. A diferença relativamente pequena entre os valores estimados e os observados para ambas as versões do modelo, em especial para o caso da RUSLE, significa que as duas versões estimaram a perda de solo com boa aproximação em relação às perdas observadas, principalmente a RUSLE, para as condições avaliadas na pesquisa. Assim, a RUSLE, principalmente, constituiu-se em ferramenta adequada de predição de perda de solo para as condições do estudo. Ambas as versões do modelo, mas principalmente a USLE, subestimaram as perdas de solo. Assim, quanto à efetividade do modelo, houve pequena variação entre os dados observados e os estimados, principalmente nos maiores comprimentos de declive, e especialmente no caso da RUSLE que apresentou eficiência superior à USLE.

Figura 7. Relação entre os valores de perda de solo observados e os valores estimados pela USLE em cada tratamento (média das repetições).



Fonte: Própria autora, 2016

Figura 8. Relação entre os valores de perda de solo observados e os valores estimados pela RUSLE em cada tratamento (média das repetições).



Fonte: Própria autora, 2016

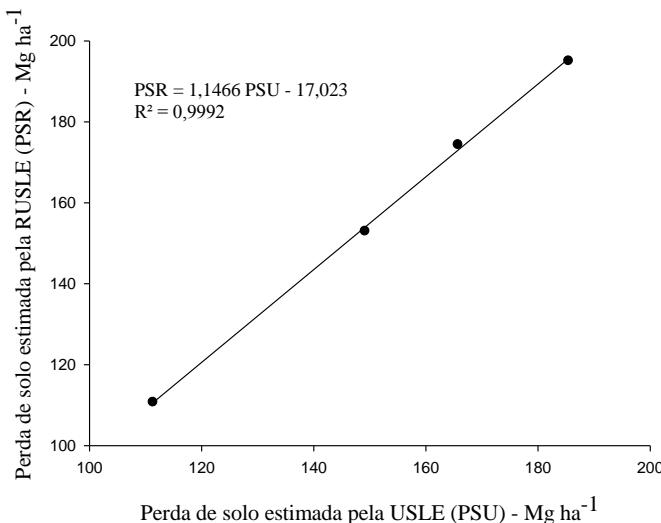
O resultado obtido para a RUSLE está de acordo com o obtido por Cecílio et al. (2009), em cujo trabalho o modelo subestimou as perdas em solos brasileiros. Também concorda com Spaeth et al. (2003), os resultados que estes autores obtiveram por meio de chuva simulada, em oito estados Americanos, 22 locais, 132 parcelas e diversos tipos de vegetação, mostraram forte tendência da RUSLE em subestimar as perdas de solo.

A tendência de subestimativa de dados de perda de solo da RUSLE, discorda dos resultados obtidos por Risse et al. (1993) e por Nearing (1998). Estes autores verificaram que a USLE e a RUSLE tendem a superestimar as perdas de solo quando estas ocorrem em pequenas quantidades e a subestimar quando em grandes quantidades. Amorim (2010) verificou também uma tendência de superestimativa de perda de solo pela USLE e RUSLE, independentemente da quantidade de perda de solo observada.

No trabalho realizado por Tiwari et al. (2000), valores de perdas desolo estimados utilizando-se a USLE e RUSLE, foram comparados aos valores medidos em parcelas experimentais, sob condições de chuva natural, em 20 locais diferentes. Os autores verificaram que, em geral, a eficiência do modelo foi baixa em locais com baixos valores de perdas de solo, enquanto que, em locais com elevadas perdas de solo, ocorreram melhores previsões, sendo que o desempenho da USLE foi mais satisfatório quando comparado com o da RUSLE.

Na figura 9 observa-se a perda de solo estimada pela USLE versus a perda de solo estimada pela RUSLE. Verifica-se que não existiram diferenças expressivas nas estimativas obtidas utilizando-se com os dois modelos para os diferentes comprimentos de declive avaliados. Ambos os modelos constituíram-se em excelentes ferramentas para previsão de perda de solo nas condições avaliadas.

Figura 9. Relação entre os valores de perda de solo estimados pela RUSLE e os valores estimados pela USLE em cada tratamento (média das repetições).



Fonte: Própria autora, 2016

A USLE e RUSLE são importantes ferramentas para auxiliar os conservacionistas de solo e agricultores no planejamento agrícola, sendo usadas como um guia na escolha das práticas mais eficientes no controle da erosão do solo, principalmente em locais onde as perdas de solo são superiores aos limites toleráveis (AMORIM, 2003).

Entretanto, a utilização destes modelos só foi possível devido ao amplo banco de dados existentes para a região estudada ao longo de mais de 20 anos. Cabe ressaltar que estes modelos de erosão foram desenvolvidos e os seus parâmetros ajustados para ambientes de clima temperado, condições estas muito divergentes das condições edafoclimáticas encontradas em clima subtropical e tropical. Dessa forma, de acordo com

Amorim (2003), torna-se de fundamental importância a realização de uma avaliação do desempenho destes modelos quando aplicados às condições brasileiras antes que possam ser extensivamente utilizados para a predição das perdas de solo.

Além disso, mais estudos são necessários em diversas regiões do país, para que a criação de um banco de dados nacional permita a utilização destes modelos em outras regiões. Ainda, torna-se necessário salientar que os problemas relativos às subestimativas ou superestimativas nos valores de perda de solo podem, em parte, serem amenizados quando mais pesquisas forem realizadas em relação a todos os fatores que influenciam a erosão. Além disso, é necessário respeitar os limites dos modelos e utilizar dados condizentes com as características de cada região, garantindo maior idoneidade aos resultados e permitindo aprofundar o conhecimento do processo de erosão hídrica no País.

8 CONCLUSÕES

1. As perdas de solo pela erosão hídrica aumentam com o aumento do comprimento de declive; as perdas de água mantêm a mesma tendência, mas aumentam menos do que as perdas de solo com o referido comprimento.
2. As perdas de solo são maiores na primavera e no verão do que o no outono e no inverno; as perdas de água diferem menos entre as referidas estações do que as perdas de solo.
3. As perdas de solo e água relacionam-se linear e positivamente com a erosividade e com a altura de chuva, respectivamente.
4. As perdas de solo são satisfatoriamente estimadas pelo modelo nas duas versões, USLE e RUSLE, embora com valores menores do que aqueles observados em campo, em diferentes comprimentos de declive; a relação entre as variáveis é linear e positiva.
5. Na versão RUSLE, o modelo estima as perdas de solo com valores mais próximos dos observados em campo do que na versão USLE, especialmente em comprimentos de declives mais longos.
6. As perdas de solo por erosão hídrica, estimadas pela versão RUSLE do modelo, relacionam-se linear e positivamente com as referidas perdas estimadas pela versão USLE.

REFERÊNCIAS

AKESON, M. & SINGER, M. J. A preliminar length factor for erosion on steep slopes in Guatemala and its use to evaluate "curvas a nível." **Geoderma** 33, 265, 1984.

AMARAL, A.J. **Erosão hídrica e limites críticos de comprimento de declive para seu efetivo controle, em diferentes tipos e doses de resíduo cultural e dois modos de semeadura direta.** Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, (Tese de Doutorado), 144p, 2010.

AMORIM, R. S. S. et al .Avaliação do desempenho dos modelos de predição da erosão hídrica USLE, RUSLE e WEPP para diferentes condições edafoclimáticas do Brasil. **Eng. Agríc.**, Jaboticabal, v. 30, n. 6, p. 1046-1049, Dec. 2010.

AMORIM, R.S.S. **Avaliação dos modelos de predição da erosão hídrica USLE, RUSLE e WEPP para condições edafoclimáticas brasileiras.** 2003. 123 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa - MG, 2003.

ANDRADE, R.S. & STONE, L.F. Índice S como indicador da qualidade física de solos do cerrado brasileiro. **R. Bras. Eng. Agric. Amb.**, 13:382-388, 2009.

ASSISTAT 7.7 beta. Assistência Estatística. Responsável Dr. Francisco de Assis Santos e Silva . DEAG-CTRN-UFCG, Campina Grande –PB, Brasil, Registro INPI 0004051-2. Disponível em :<<http://assistat.com/indexp.html>>. Acesso em 23 mai 2015.

BAGARELLO V. FERRO V. Analysis of soil loss data from plots of differing length for the Sparacia experimental area, Sicily, Italy. **Biosyst Eng.** 105:411-22. DOI: 10.1016/j.biosystemseng. 2010.

BAGARELLO V., V. FERRO, G. GIORDANO, F. MANNOCCHI, V. PAMPALONE, F. TODISCO, L. VERGNI Effect of plot size on measured soil loss for two Italian experimental sites. **Biosyst. Eng.**, 108 pp. 18–27, 2011.

BAGARELLO, V. DI STEFANO, V. FERRO, G. GIORDANO, M. IOVINO, V. Pampalone Estimating the USLE soil erodibility factor in Sicily, South Italy **Appl Eng Agric**, 28 (2), pp. 199–206, 2012.

BARBOSA, F. T.; BERTO, I.; WERNER, R.S.; RAMOS, J.C.; RAMOS, R.R. Comprimento crítico de declive relacionado à erosão hídrica, em três tipos e doses de resíduos em duas direções desemeadura direta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v 36: p.1279-1290. 2012.

BARBOSA, F.T.; BERTOL, I.; LUCIANO, R.V. & PAZ GONZÁLEZ, A. Phosphorus losses in water and sediments in runoff of the water erosion in oat and vetch crops seed in contour and downhill. **Soil Tillage Res.**, 106:22-28, 2009.

BAZZANO, M.G.P.; ELTZ, F.L.F.; CASSOL, E.A. Erosividade, coeficiente de chuva, padrões e período de retorno das chuvas de Quarai, RS. **R. Bras. Ci. Solo**, 31: 1205-1217, 2007.

BERTOL, I. **Comprimento crítico de declive para preparamos conservacionistas de solo**. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 185p. (Tese de Doutorado) 1995.

BERTOL, I. et al. Erosividade das chuvas e sua distribuição entre 1989 e 1998 no município de Lages (SC). **R. Bras. Ci. Solo**, 26: 455-464, 2002b.

BERTOL, I. Perdas de nutrientes por erosão hídrica em diferentes sistemas de manejo de solo sob rotação de culturas. **Univ. Des.**, 2:174-184, 1994

BERTOL, I., ALBUQUERQUE, J. A., LEITE, D., AMARAL, A. J., & ZOLDAN JUNIOR, W. A.. Propriedades físicas do solo sob preparo convencional e semeadura direta em rotação e sucessão de culturas, comparadas às do campo nativo. **R. Bras. Ci. Solo**, 28, n.1, p.155-163, 2004.

BERTOL, I.; ALMEIDA, J.A. Tolerância de perda de solo por erosão para os principais solos do estado de Santa Catarina. **R. Bras. Ci. Solo**, 24: 657-668, 2000.

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

BERTOL, I.; CIPRANDI, O.; KURTZ, C. and BAPTISTA, A. S.. Persistência dos resíduos culturais de aveia e milho sobre a superfície do solo em semeadura direta. **Rev. Bras. Ciênc. Solo.**, vol.22, n.4 pp. 705-712 . Available from: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06831998000400016&lng=en&nrm=iso>. ISSN 0100-0683. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06831998000400016>. 1998.

BERTOL, I.; SCHICK, J.; BATISTELA, O.; LEITE, D.; AMARAL, A.J. Erodibilidade de um Cambissolo húmico alumínicoléptico, determinada sob chuva natural entre 1989 e 1998 em Lages (SC). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.26, p.465-471, 2002.

BERTOL, I.; BARBOSA, F. T.; MAFRA, Á.L.; FLORES, M. C. Soil water erosion under diferente cultivation systems and diferente fertilization rates and forms over 10 years. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, vol.38, n.6, pp. 1918-1928, 2014.

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

BERTONI, J.; PASTANA, F.I.; LOMBARDI NETO, F.; BENATTI Jr., R. **Conclusões gerais das pesquisas sobre conservação do solo no Instituto Agronômico**. Campinas, 1972. 56p. (Circular, 20)

BEUTLER, J. F.; BERTOL, I.; VEIGA, M.; WILDNER, L. P. Perdas de solo e água num Latossolo Vermelho Aluminoférreico submetido a diferentes sistemas de preparo e cultivo sob chuva natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, p.509-517, 2003.

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

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

CALONEGO, J.C; GIL, F.; ROCCO, V.R.; SANTOS, E.A. Persistência e liberação de nutrientes da palha de milho, braquiária e labe-labe. **Bioscience Journal**, v.28, n.5, p.770-781, 2012.

CANTALICE, J.R.B.; CASSOL, E.A.; REICHERT, J.M. & BORGES, A.L.O. Hidráulica do escoamento e transporte de sedimentos em sulcos em solo franco-argilo-arenoso. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, Viçosa , v. 29, n. 4, p. 597-607, <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832005000400012>. 2005.

CECÍLIO, R.A.; RODRIGUEZ, R.G.; BAENA, L.G.N.; OLIVEIRA, F.G.; PRUSKI, F.F. Aplicação dos modelos RUSLE e WEPP para a estimativa da erosão hídrica em microbacia hidrográfica de Viçosa (MG). **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, Mossoró, v.4, n.2, p.39-45, 2009.

COGO, N. P.; LEVIEN, R.; SCHWARZ, R. A. Perdas de solo e água por erosão hídrica influenciadas por métodos de preparo, classes de declividade e níveis de fertilidade do solo. **R. Bras. Ci. Solo**, Viçosa, v.27, p.743-753, 2003.

COGO, N.P. Conceitos e princípios científicos envolvidos no manejo de solo para fins de controle da erosão hídrica. In: congresso brasileiro de ciência do solo, 21.,**Anais...** Campinas, 1988.

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.

COOK, H.L **The nature and controlling variables of the water erosion process**. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 1,pp.487–494, 1936.

DA SILVA, F.A.M; PINTO, H.S.; SCOPEL, E. CORBEELS, M. & AFFHOLDER, F. Dinâmica da água nas palhadas de milho, milheto e soja utilizadas em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 41;717-724, 2006.

ELLISON, W.D. Soil erosion studies. **Agricultural Engineering**, St. Joseph, 28:145-147, 197-201, 245-248, 297-300, 349-351, 402-405, 442-444, 1947.

ELTZ, F.L.F. **Perdas por erosão sob precipitação natural em diferentes manejos de solo e coberturas vegetais. I. Solo da unidade de mapeamento São Jerônimo - 1^a fase experimental**. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 97p. (Tese de Mestrado), 1977.

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

ENGEL, F.; BERTOL, I.; RITTER, S.R.; PAZ GONZÁLEZ, A.; PAZ-FERREIRO, J. & VIDAL VÁSQUEZ, E. Soil erosion under simulated rainfall in relation to phonological stage of soybeans and tillage methods in Lages, SC, Brazil. *Soil Till. Res.* 103:2016-224, 2009

FAVARETTO, N. **Gypsum amendment and exchangeable calcium and magnesium related to water quality and plant nutrition.** West Lafayette, Purdue University, 150p. 2002.

FERREIRA, M.M. Caracterização física do solo. In: VAN LIER, Q.J. **Física do Solo.** Minas Gerais: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p.1-27. 2010

FORSYTHE, W. 1975. **Física de suelos: manual de laboratorio.** University Press. Ithaca, New York, 324 p. 1975.
FOSTER G.R., L.D. MEYER, C.A. **Onstad na erosion equation derived from basic erosion principles.** Trans. ASAE, 20 (4) pp. 678-682. (1977),

FOSTER, G.R.; MEYER, L.D. **Mathematical simulation of upland erosion by fundamental erosion mechanics.** In: USDA-ARS (Ed.) **Present and prospective technology for predicting sediment yields and sources.** Washington, p.190-207 (ARS-S, 40). 1972.

FOSTER, G.R.; MOLDENHAUER, W.C.; WISCHMEIER, W.H. Transferability of US technology for prediction and control of erosion in the tropics. En: **Soil Erosion and Conservation in the Tropics, Special Publication 43. Amer. Soc. of Agronomy**, págs. 135-149. 1982.

GIACOMINI, S. J.; AITA, C.; VENDRUSCOLO, E. R. O.; CUBILLA, M.; NICOLOSO, R. S.; FRIES, M. R. Matéria seca, relação C/N e acúmulo de nitrogênio, fósforo e potássio em misturas de plantas de cobertura desolo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 27, n. 2, p. 325-334, 2003.

HART, M. R.; QUIN, B. F.; NGUYEN, M, L. Phosphorous runoff from agricultural land and direct fertilizer effects: a review. *Journal of Environmental Quality*, v.33, p.1954-1972, 2004.

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

ISTOK, J. D.; BOERSMA, L. Effect of antecedent rainfall on runoff during low-intensity rainfall. **Journal of Hydrology**, v.88, p.329-342, 1986.

KEMPER, W.D. & CHEPIL, W.S. Size distribution of aggregation. In: BLACK, C.A. ed. **Methods of soil analysis**. Madison, American Society Agronomy, p.499-510. 1965.

KOHNKE, H. **Soil physics**. New York, McGraw-Hill, 224p. 1968.

LAFLEN, J. M. & SAVESON, J. L. Surface runoff from graded lands of low slopes. **Trans. Am. Soc. Agric. Engrs** 13, 340. 1970.

LAL, R. Effects of slope length on erosion of some Alfisols in western Nigeria. **Geoderma** 33, 181-189. 1984.

LAL, R. Effects of slope length on runoff from Alfisols in Western Nigeria. **Geoderma** 31, 185- 193. 1983.

LAL, R. Effects of slope length, slope gradient, tillage methods and cropping systems on runoff and soil erosion on a tropical Alfisol: preliminar results. Proceedings of the Porto Alegre Symposium, Sedimen Budgets, **IAHS Publ.** no. 174. 1988.

LIMA, E.R.V. Erosão do solo: Fatores condicionantes e modelagem matemática. Disponível em:
<http://www.geociencias.ufpb.br/logepa/revistas/pesquisa/ano1_n1/ano1_n1_artigo1.htm>. Acesso em: 10 dez 2015.

LIU, B. Y., M. A. NEARING, P. J. SHI, AND Z. W. JIA. Slope length effects on soil loss for steep slopes. In **Sustaining the Global Farm**, 784-788. D. E. Stott, R. H. Mohtar, and G. C. Steinhardt, eds. Selected papers from the 10th Intl. Soil Conservation Organization Meeting held May 24-29, 1999 at Purdue University and the USDA-ARS National Soil Erosion Research Laboratory. Washington, D.C.: USDA-ARS. 2001.

MAZURANA, J. et al. Erosividade, padrões hidrológicos e período de retorno das chuvas erosivas de Santa Rosa (RS). **R. Bras. Eng. Agr. Amb.**, 13: 975-983, 2009.

MCISAAC, G. F.; MITCHEL, J. K.; HIRSCHI, M. C. Dissolved phosphorous concentrations in runoff from simulated rainfall on corn and soybean tillage systems. **Journal of Soil and Water Conservation**, v.50, p.383-387, 1995.

MEYER, L. D., FOSTER, G. R., NIKOLOW, S. Effect of flow rate and canopy on rill erosion. **Trans. Of the Am. Soc. Agric. Eng.**, v. 18, n. 5, p. 905-911, 1975.

MIRÁS AVALOS, J.M.; SANDE FOUZ, P.; VIDAL VÁZQUEZ, E.; PAZ GONZÁLEZ, A. & BERTOL, I. Crop residue effects on organic carbon, nitrogen, and phosphorus concentrations and loads in runoff water. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.*, 40:200-213, 2009.

MORAIS, L.F.B. **Comprimentos críticos de declive para diferentes manejos de resíduos culturais no sistema plantio direto em um solo Podzólico da Depressão Central-RS.** Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 162p. (Tese de Doutorado), 1999.

NEARING, M. A. Wy soil erosion models oer-predi small soil losses and underpredi large soil losses. *Catena*, n. 32, v. 3, p. 15 – 22, 1998.

REINERT, D.J. e REICHERT, J.M. **Propriedades físicas do solo.** Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 18p. 2006.

RENARD, K.G. et al. Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with the revised universal soil loss equation (RUSLE). (**Agricultural Handbook, 8**) Washington: USDA, 1997.

RISSE, L. M., NEARING, M. A., NICKS, A. D., & LAFLEN, J. M. Error assessment in the Universal Soil Loss Equation. *Soil Science Society of America Journal*, 57, 825–833. 1993

RISSE, L.M., NEARING, M.A., NICKS, A. D., LAFLEN, J.M. Asseeement of error in the universal soil loss equation. *Soil Science Society of America Jornal*, n.57, p.825-833, 1993

SANCHIS, M. P.S.; TORRI, D.; BORSELLI, L.; POESEN, J. Climate effects on soil erodibility. **Earth Surface Processes and Land forms**, 33, pp. 1082–1097, 2008.

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.** – Lages, 2014. Tese (Doutorado em Manejo do Solo) - Centro de Ciências Agroveterinárias /Universidade do Estado de Santa Catarina. 2014.

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

SCHICK, J.; BERTOL, I.; COGO, N. P. ; PAZ GONZALEZ, A. **R. Bras. Ci. Solo**, <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832014000600024>. Viçosa , v. 38, n. 6, p. 1890-1905, 2014.

SILVA, A.M. et al. Erosividade da chuva e erodibilidade de Cambissolo e Latossolo na região de Lavras, Sul de Minas Gerais. **R. Bras. Ci. Solo**, 33: 1811-1820, 2009.

SILVA, R.L. & DE MARIA, I.C. Erosão em sistema plantio direto: influência do comprimento de rampa e da direção de semeadura. **Rev. bras. eng. agríc. ambient.**, Campina Grande, v. 15, n. 6, p. 554-561, 2011.

SORATO, R. P.; CRUSCIOL, C. A. C. Cátions hidrossolúveis na parte aérea de culturas anuais mediante aplicação de calcário e gesso na superfície. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 1, p. 81-90, 2007.

SPAETH, K.E.; PIERSON, F.B.; WELTZ, M.A.; BLANCKBURN, W.H. Evaluation of USLE and RUSLE

estimated soil loss on rangeland J. **Range Manag.**, 56 pp. 234–246, 2003.

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

TIWARI, A. K., RISSE, L. M. e NEARING, M. A. **Evaluation of WEPP and its comparison with USLE and RUSLE**. Transactions of the ASAE, St Joseph, n. 43, v. 5, p. 1129-1135, 2000.

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

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

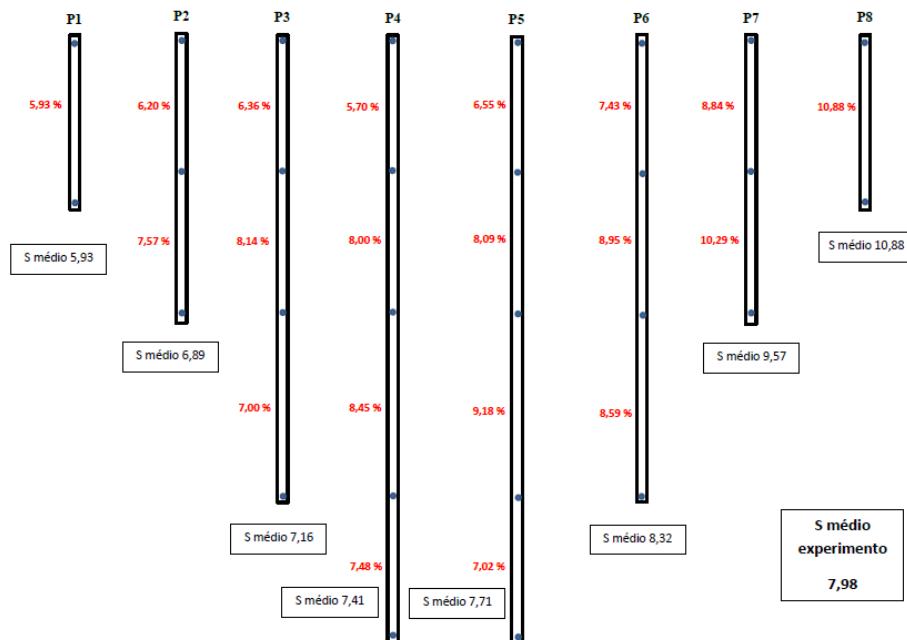
WISCHMEIER, W.H.; SMITH, D.D. Rainfall energy and its relationships to soil loss. **Trans. Am. Geophys. Union**, 39: 285-291, 1958.

WREGE, M.S. et al. (Editores técnicos) **Atlas climático da Região Sul do Brasil: Estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul. Pelotas**: Embrapa Clima Temperado; Colombo: Embrapa Florestas, v.1. 332 p. 2011.

ZINGG, A. W. **Degree and length of land slope as it affects soil loss in runoff**. **AgriculturalEngineering**, 21, 59–64. (1940).

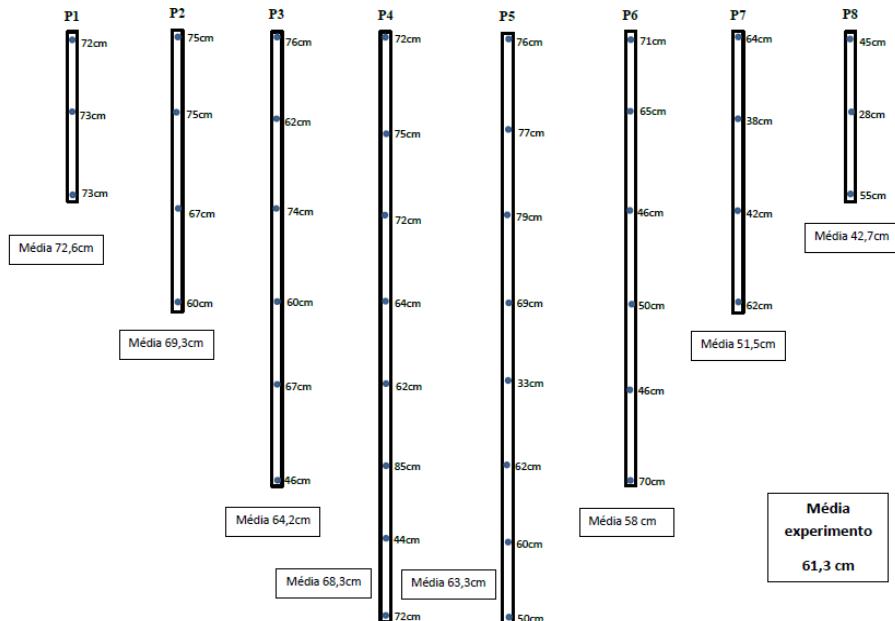
ANEXOS

Anexo 1. Croqui da declividade do terreno nas parcelas do experimento.



Fonte: Própria autora, 2016.

Anexo 2. Croqui da profundidade do solo nas parcelas do experimento, realizada através de tradagem.



Fonte: Própria autora, 2016.