

VENESA PINTO DOS SANTOS

EROSÃO HÍDRICA NO CULTIVO DA CEBOLA

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

Orientador: Dr. Ildegaridis Bertol
Co orientado: Álvaro Luiz Mafra

**LAGES, SC
2019**

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

Santos, Venesa Pinto dos
Erosão hídrica no cultivo da cebola / Venesa Pinto dos Santos.
-- 2019.
108 p.

Orientador: Ildegardis Bertol
Dissertação (mestrado) -- Universidade do Estado de Santa
Catarina, Centro de Ciências Agroveterinárias, Programa de
Pós-Graduação em Ciência Do Solo, Lages, 2019.

1. Chuva simulada. 2. Plantio direto. 3. Preparo convencional. I.
Bertol, Ildegardis . II. Universidade do Estado de Santa Catarina,
Centro de Ciências Agroveterinárias, Programa de Pós-Graduação
em Ciência Do Solo. III. Título.

VENESA PINTO DOS SANTOS

EROSÃO HÍDRICA NO CULTIVO DA CEBOLA

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-graduação em Ciência do Solo como requisito parcial para obtenção do título de Mestrado em Ciência do Solo, da Universidade do Estado de Santa Catarina.

Banca examinadora:

Orientador:

(Dr. Ildegardis Bertol)
UDESC

Membros:

(Dr. Álvaro Luiz Mafra)
UDESC

(Dr. Claudinei Kurtz)
EPAGRI

AGRADECIMENTOS

Ao professor Dr. Ildegardis Bertol pela orientação, paciência, empenho, aconselhamentos e apoio incondicional a todo período de mestrado.

A EPAGRI-Ituporanga em nome do pesquisador Dr. Claudinei Kurtz, o qual gentilmente realizou a doação das mudas de cebola, utilizadas na pesquisa.

Aos meus pais Margarida Pinto dos Santos e Homero Prestes dos Santos por todo amor, incentivo, apoio e confiança, certamente nada seria possível sem que estivessem ao meu lado. A minha irmã Andressa Pinto dos Santos, pela continua parceria ao longo dos anos de estudos, enfrentando junto comigo, todas as etapas de minha pesquisa, por continuar sendo meu apoio emocional e minha melhor amiga. Ao Maurício Kasper, por ter feito parte dessa etapa, e a qual sou infinitamente grata.

Aos amigos do laboratório de Uso e Conservação do Solo – CAV/UDESC, Marco Segalla Prazeres, Tercio Fehlauer, Bárbara Bagio, Neuro Wolschick, Ben Hur Natal Dal Piva, Bruna Biasiolo, Loriane Bernardi, Luiz Antonio Biasiolo, Filipe Antonio Wroblescki, Artur Kauling, Romeu de Souza Werner e Nadine Ortiz Fuck pelo companheirismo, ajuda e ensinamento durante as todas as etapas da pesquisa, em especial no trabalho a campo, sendo cada um deles fundamental, para realização de meu mestrado, a eles meu reconhecimento e profunda gratidão, os quais levarei com carinho comigo para sempre. À professora Luciana Costa, pela amizade, pela paz e alegria e sabedoria que trouxe ao nosso Laboratório.

A Universidade do Estado de Santa Catarina, em especial ao Centro de Ciências Agroveterinárias e ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo pela estrutura e ensino. Aos professores do Departamento de Solos pelos ensinamentos transmitidos. À CAPES pela concessão da bolsa.

Aos amigos que fiz na UDESC-CAV, durante este período de pós-graduação
Agradeço a todos que contribuíram para a realização desse trabalho.

RESUMO

O objetivo do trabalho foi avaliar quantitativamente o efeito do manejo do solo e o tipo de resíduo cultural na perda de solo e água por erosão, em condição de chuva simulada, em solo cultivado com cebola. O experimento foi desenvolvido em 2017. Sobre os tratamentos, aplicaram-se quatro testes de chuva simulada, com chuvas de 60 minutos de duração e 65 mm h^{-1} de intensidade constante, utilizando-se um simulador de chuva com braços rotativos do tipo empuxo. Os tratamentos consistiram: 1) Plantio de cebola, com sulcamento apenas na linha de plantio, sobre o resíduo cultural da soja remanescente (PDS); 2) Plantio de cebola, com sulcamento apenas na linha de plantio, sobre o resíduo cultural do milho remanescente (PDM); 3) Plantio de cebola em solo preparado com uma aração + duas gradagens + destorroamento manual com enxada, sobre o resíduo cultural da soja remanescente (PCS); 4) Plantio de cebola em solo preparado com uma aração + duas gradagens + destorroamento manual com enxada, sobre o resíduo cultural do milho remanescente (PCM); 5) Solo sem cultivo, descoberto e preparado com uma aração e duas gradagens (SSC – tratamento controle). O delineamento experimental FOI inteiramente casualizado, com tratamentos em duas repetições, em parcelas com dimensões de 3,5 x 11 m cada uma e declividade média de 0,123 m m^{-1} . Avaliaram-se as perdas de solo e água e os teores de P, na água e nos sedimentos de enxurrada e na camada de 0-2,5 cm na parte superior e inferior de cada parcela. Os dados obtidos foram submetidos à análise estatística descritiva, apresentando-se os valores de desvio padrão, média e coeficiente de variação. A perda de solo por erosão hídrica no cultivo da cebola foi influenciada pelo manejo do solo e o tipo de resíduo cultural utilizado, sendo o sistema plantio direto sobre o resíduo do milho o mais eficiente no controle da erosão, e apresentando maior cobertura vegetal. As perdas de água pela enxurrada apresentam tendência semelhante a perda de solo, no entanto com menor magnitude, tendo o tipo de resíduo e de manejo do solo estudados, menor influência na perda de água, quando comparada a perda de solo. A concentração de P foi maior nos tratamentos com plantio direto do que nos preparos convencionais, tanto no sedimento e na água da enxurrada. No caso da água de enxurrada, a maior perda total de P ocorreu para os tratamentos com preparos conservacionistas (PDM e PDS), sendo a menor perda verificada para o tratamento controle (SSC). Por outro lado, no caso dos sedimentos de erosão, a maior perda total de P entre tratamentos com cultivo ocorreu nos preparos convencionais (PCM e PCS). O efeito dos diferentes manejos utilizados no cultivo da cebola gera resultados relevantes do ponto de vista conservacionista e econômico.

Palavras-chave: Chuva simulada. Plantio-direto. Preparo convencional. Resíduo cultural.

ABSTRACT

The objective of this work was to quantitatively evaluate the effect of soil management and the type of cultural residue on the loss of soil and water by erosion, in a simulated rainfall condition, in soil cultivated with onion. The experiment was carried out in 2017. On the treatments, four simulated rain tests were applied, with rains of 60 minutes duration and 65 mm h⁻¹ of constant intensity, using a rain simulator with rotary arms of the buoyancy type. The treatments consisted of: 1) Planting of onion, with only row planting, on the remaining soybean cultural residue (NTS); 2) Onion planting, with only the planting line, on the remaining corn residue (NTM); 3) Onion planting in soil prepared with a plowing + two harrows + manual sprinkling with hoe, on the remaining soybean crop residue (CTS); 4) Planting of onion in soil prepared with a plowing + two harrows + manual sprinkling with hoe, on the residual corn crop residue (CTM); 5) Soil without culture, uncovered and prepared with a plowing and two gradations (SWC- control treatment). The experimental design was completely randomized, with treatments in two replications, in plots with dimensions of 3.5 x 11 m each and a mean slope of 0.123 m m⁻¹. Soil and water losses and P, water and runoff sediments and the 0-2.5 cm layer were evaluated at the top and bottom of each plot. The data were submitted to descriptive statistical analysis, presenting the values of standard deviation, mean and coefficient of variation. Soil loss due to water erosion in onion cultivation was influenced by soil management and the type of crop residue used, being the no - tillage system the most efficient in the erosion control, and presenting a higher vegetation cover. The loss of water from the runoff shows a tendency similar to soil loss, however with a lower magnitude, with the type of residue and soil management studied, less influence on water loss, when compared to soil loss. The concentration of P was higher in no-tillage treatments than in conventional tillage, both in sediment and in runoff water. In the case of runoff water, the highest total loss of P occurred for the treatments with conservation preparations (NTM and NTS), with the lowest loss verified for the control treatment (SWC). On the other hand, in the case of erosion sediments, the greatest total loss of P between treatments with cultivation occurred in the conventional preparations (CTM and CTS). The effect of the different treatments used in onion cultivation generates relevant results from the conservation and economic point of view.

Keywords: Simulated rainfall. No-tillage. Conventional tillage. Cultural residue.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Croqui da distribuição dos tratamentos na área experimental	37
Figura 2. Aparelho Simulador de chuva de braços rotativos do tipo Empuxo operando sobre duas parcelas simultaneamente.....	40
Figura 3. Teste de chuva simulada em dias após o plantio da cebola.	40
Figura 4. Relação entre perdas de solo (PS - kg ha ⁻¹) e cobertura por resíduo cultural (RC - %).	70
Figura 6. Relação entre a perda do solo (PS) kg ha ⁻¹ com a velocidade da enxurrada (m/s ¹). Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.	71
Figura 6. Relação entre o P extraível nos sedimentos de erosão, com o índice (ID ₅₀).....	74
Figura 7. Relação entre o P no sedimento (mg dm ⁻³) com P na camada de 0-2,5 cm do solo (mg dm ⁻³).	80
Figura 9. Relação entre o P na água da enxurrada (mg dm ⁻³) com o P na camada de 0-2,5cm do solo (mg dm ⁻³).	81

LISTA DE TABELA

Tabela 1. Massa seca do resíduo cultural nos tratamentos (MS) antes do preparo do solo e cobertura de resíduo cultural (CS) após o preparo do solo, por tratamento.	42
Tabela 2. Stand observado e porcentagem de plantas em relação ao stand programado de 1250 plantas por parcela, em cada tratamento.....	48
Tabela 3. Peso de 20 bulbos de cebola e produtividade por tratamento.....	49
Tabela 4. Diâmetro transversal do bulbo de cebola (mm) e classe por tratamentos.	49
Tabela 5. Densidade do solo, por camada, nos diferentes tratamentos estudados.	50
Tabela 6. Porosidade total do solo, por camada, nos diferentes tratamentos estudados.	51
Tabela 7. Microporosidade do solo, por camada, nos diferentes tratamentos estudados.	52
Tabela 8. Macroporosidade do solo, por camada, nos diferentes tratamentos.	53
Tabela 9. Média do diâmetro médio ponderado de agregados (DMP) estáveis em água em diferentes profundidades, nos diferentes tratamentos.....	54
Tabela 10. Rugosidade do solo (mm) nos diferentes tratamentos por testes de chuva simulada.	56
Tabela 11. Cobertura do solo por resíduo cultural nos diferentes tratamentos por teste de chuva simulada.	58
Tabela 12. Valores de tempo de início da enxurrada em diferentes tratamentos e testes de chuva simulada.	59
Tabela 13. Velocidade da enxurrada (ms^{-1}), nos diferentes tratamentos e teste de chuva simulada.....	60
Tabela 14. Umidade gravimétrica ($g\ g^{-1}$) por profundidade, nos diferentes tratamentos e teste de chuva simulada.	61
Tabela 15. Distribuição percentual de diâmetro dos sedimentos transportados na enxurrada, de acordo com a classe de tamanho nos diferentes tratamentos e testes de chuva simulada.	64
Tabela 16. Índice D_{50} dos sedimentos transportados na enxurrada por tratamento e teste de chuva simulada.	65
Tabela 17. Perdas de água (%) nos diferentes tratamentos e chuva simulada.....	67
Tabela 18. Perdas de solo ($kg\ ha^{-1}$) nos diferentes tratamentos em cada teste de chuva simulada.....	69
Tabela 19. Concentração de P solúvel na água da enxurrada, nos diferentes tratamentos e testes de chuva simulada.....	72
Tabela 20. Concentração de P extraível nos sedimentos da enxurrada, nos diferentes tratamentos e testes de chuva simulada.	73
Tabela 21. Perda de P na água da enxurrada, nos diferentes tratamentos por chuva simulada.	76
Tabela 22. Perda total de P nos sedimentos da erosão hídrica nos diferentes tratamentos por chuva simulada.	77
Tabela 23. Concentração de P extraível na camada de 0-2,5 cm de profundidade do solo por tratamento na posição superior da parcela diferentes tratamentos por teste de chuva simulada.	78
Tabela 24. Concentração de P extraível na camada de 0-2,5 cm de profundidade do solo, na posição inferior da parcela, nos diferentes tratamentos, por teste de chuva simulada.	79

Tabela 25. Taxa de enriquecimento em P ocasionada pelos sedimentos erodidos em relação à concentração do elemento contido na camada de 0-2,5cm do solo, por teste de chuva simulada.....82

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	21
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	23
2.1 DEGRADAÇÕES DO SOLO NO CULTIVO DE OLERÍCOLAS.....	23
2.2 MERCADOS DA CEBOLA NO BRASIL	24
2.3 EROSÃO DO SOLO	25
2.3.1 Erosão hídrica pluvial do solo.....	26
2.3.2 Fatores que influenciam a erosão do solo.....	27
2.3.3 Perda de fósforo por erosão hídrica.....	29
3. HIPÓTESES	33
4. OBJETIVOS	33
4.1 GERAL.....	33
4.2 ESPECÍFICOS	33
5. MATERIAL E MÉTODOS	35
5.1 LOCALIZAÇÃO DO EXPERIMENTO, CARACTERIZAÇÃO DO SOLO E HISTÓRICO DA ÁREA DE ESTUDO	35
5.2 UNIDADE EXPERIMENTAL	36
5.3 TRATAMENTOS	36
5.4 IMPLANTAÇÃO E MANEJO DA CULTURA DE CEBOLA.....	37
5.5 APARELHO SIMULADOR DE CHUVA USADO E CHUVAS SIMULADAS APLICADAS.....	39
5.6 DETERMINAÇÕES E COLETAS EFETUADAS EM CAMPO ANTES DE REALIZAR AS CHUVAS	41
5.7 DETERMINAÇÕES E COLETAS REALIZADAS EM CAMPO DURANTE A APLICAÇÃO DAS CHUVAS.....	42
5.8 NO LABORATÓRIO, APÓS A REALIZAÇÃO DAS CHUVAS.....	44
5.9 AJUSTE DE DADOS.....	46
5.10 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	46
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO	47
6.1 PRODUÇÕES DA CEBOLA.....	47
6.2 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS INTERNAS DO SOLO.....	50

6.2.1 Densidade do solo	50
6.2.2 Porosidade do solo	51
6.2.3 Estabilidade dos agregados do solo em água.....	53
6.3 CARACTERÍSTICAS DE SUPERFÍCIE DO SOLO	55
6.3.1 Rugosidade ao acaso da superfície do solo	55
6.3.2 Cobertura do solo por resíduo cultural	57
6.4 PARÂMETROS RELACIONADOS À ENXURRADA.....	58
6.4.1 Tempo de início de enxurrada	58
6.4.2 Velocidade da enxurrada	59
6.4.3 Umidade gravimétrica do solo.....	61
6.4.4 Distribuição de tamanho e índice D50 dos sedimentos transportados na enxurrada	62
6.5 PERDAS DE ÁGUA	67
6.6 PERDAS DE SOLO	68
6.7 CONCENTRAÇÃO DE FÓSFORO SOLÚVEL NA ÁGUA DE ENXURRADA.....	71
6.8 CONCENTRAÇÃO DE FÓSFORO EXTRAÍVEL NOS SEDIMENTOS DE EROSÃO	73
6.9 PERDA TOTAL DE FÓSFORO NA ÁGUA DE ENXURRADA.....	75
6.10 PERDA TOTAL DE FÓSFORO NOS SEDIMENTOS DE EROSÃO.....	76
6.11 CONCENTRAÇÃO DE FÓSFORO NA CAMADA DE 0-2,5 CM DO SOLO.....	77
6.12 TAXA DE ENRIQUECIMENTO DO SEDIMENTO PERDIDO POR EROSÃO HDRÍCA.....	81
7. CONCLUSÕES	85
8. CONSIDERAÇÕES FINAIS	87
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	89
APÊNDICE	105
ANEXOS	107

INTRODUÇÃO

A degradação do solo causada pela erosão hídrica é um dos maiores desafios para a atividade agrícola afeta a humanidade em ambiente rural e também urbano. Embora esse problema seja tão antigo quanto à própria atividade agrícola, a magnitude da erosão nos dias atuais ainda apresenta incontáveis danos, impactando a qualidade de vida humana exigindo, dessa forma, ampliação de pesquisas e debates em torno do assunto. Considerando tratar-se de problema em escala global, a erosão, além de provocar perdas de água, solo, nutrientes e matéria orgânica em áreas agrícolas, o produto dela atinge ecossistemas aquáticos causando inundação, assoreamento, eutrofização, entre outros. Esse efeito negativo pode chegar a um ponto de insustentabilidade que levará, a longo prazo, ao esgotamento físico, químico e biológico do solo, acompanhado de uma crise social e ambiental.

A olericultura é uma das atividades agrícolas para a qual o solo é intensamente usado, em geral com manejo degradante, principalmente devido às frequentes e intensas operações de preparo e/ou outras operações mecânicas, ao curto ciclo das culturas e a incapacidade das mesmas de proteger o solo. Entre as olerícolas, a cebola (*Allium cepa* L.) é notoriamente cultivada com manejo de solo que implica em grande mobilização mecânica, com operações de aração seguidas de gradagem e, muitas vezes, de enxada rotativa, compondo um sistema de cultivo que gera instabilidade física, química e biológica no solo devido à elevada erosão. Na maioria das situações, o cultivo da cebola é realizado com manejo do solo que resulta num cenário de degradação extrema em muitas áreas, com casos de perdas do horizonte superficial de solo por erosão. Essa condição é comum nas regiões tradicionais produtoras de cebola do estado de Santa Catarina, em especial no Vale do Itajaí, onde predominam solos rasos situados em áreas de média e alta declividade que agravam o problema.

Um dos principais inconvenientes do manejo do solo com intenso revolvimento mecânico é a insustentabilidade ambiental, principalmente no que diz respeito aos locais de depósito da erosão, já que na origem da erosão o solo permanece descoberto e sujeito à ação direta da chuva e do escoamento superficial que desagregam e transportam partículas de solo. Para minimizar estes problemas, sistemas de manejo conservacionista, como plantio direto e cultivo mínimo, vem sendo utilizados na olericultura catarinense como meio de controle de erosão hídrica do solo. Os principais efeitos desses sistemas de manejo são a melhoria da estrutura do solo, com reflexos positivos nos aspectos físicos e hídricos, bem como na preservação e melhoria dos atributos químicos e microbiológicos do solo.

A quantificação da erosão hídrica em condição de chuva simulada, comparando o manejo do solo com arado e grade (convencional) com o plantio direto (conservacionista) no cultivo de cebola, se faz necessária para determinar a eficácia do sistema conservacionista do ponto de vista ambiental e agronômico. O conhecimento dos resultados permite que sejam feitas recomendações de manejo do solo mais eficazes tanto para a redução da erosão hídrica, quanto para a preservação do ambiente em áreas usadas para este tipo de cultivo.

Com base nestas considerações, o objetivo principal deste trabalho foi determinar quantitativamente o efeito da forma de manejo do solo e o tipo de resíduo cultural na perda de solo, água e fósforo, por erosão hídrica em condição de chuva simulada em uma Cambissolo Húmico, cultivado com cebola, nos sistemas de manejo plantio direto e preparo convencional, cada um deles realizado sobre o solo contendo resíduo cultural de soja e resíduo cultural de milho.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 DEGRADAÇÕES DO SOLO NO CULTIVO DE OLERÍCOLAS

Dentre as atividades agrícolas, a olericultura destaca-se pelo uso contínuo com alta mobilização do solo, com uso de diversos implementos, o que torna insustentável esse modelo de exploração agrícola devido degradação rápida do solo (SOUZA et al., 2013). Atualmente, nessa atividade agrícola vem sendo inseridos sistemas de manejo de caráter conservacionista de solo, como o plantio direto e o cultivo mínimo. O sistema de plantio direto de hortaliças (SPDH) baseia-se em mobilização do solo apenas na linha de plantio, ou semeadura, com manutenção constante da palha sobre a superfície. Esses tipos de manejo mantêm e/ou melhoram os atributos químicos, físicos, hídricos e microbiológicos do solo, tornando o sistema de produção mais sustentável (CAIXETA, et al., 2009). Os principais efeitos do emprego de sistemas de base conservacionista são o controle da erosão devido à melhoria da estrutura e infiltração de água no solo (BERTOL et al., 2004), além de minimizar a amplitude térmica do solo e diminuir infestação de plantas daninhas (EPAGRI, 2013). O cultivo da cebola no solo contendo a palha de cultivos anteriores, por exemplo, melhora o sistema produtivo e a lucratividade do produtor, no médio e longo prazo.

No Brasil, as primeiras experiências com sistema plantio direto em olerícolas surgiram na década de 1980 no estado de Santa Catarina, com o cultivo de cebola na região de Ituporanga, polo produtor da cultura (MONEGAT, 1991; AMADO et al., 1992; apud SOUZA, 2013). A partir de meados da década de 1990 o cultivo mínimo da cebola, expandiu em termos de área cultivada, chegando a mais 50% de toda área cultivada pela cultura no estado de Santa Catarina. No entanto, o emprego do manejo de base conservacionista vem perdendo progressivamente área nos últimos anos, sob argumentação do “aumento da mão de obra no plantio em função da palha e da falta de equipamentos adequados para áreas com palhada abundante” (EPAGRI, 2013). Todavia vem crescendo atualmente esse cultivo conservacionista na produção de hortaliças em geral (MADEIRA, 2009).

Depreende-se, que pesquisas sob condições controladas (MARIOTI, 2012) são necessárias para mensurar o efeito dos principais sistemas de cultivo adotados na produção de cebola nas perdas por erosão hídrica. Essas informações deverão ser consideradas em planejamento conservacionista adequado que possibilite o uso sustentável do recurso solo e garanta produtividade e rentabilidade ao cultivo. No entanto, ainda são exíguas as pesquisas

de quantificação de perdas de solo, água e nutrientes, em áreas cultivadas com olerícolas. Dentre as pesquisas, destaca-se a de Caixeta et al. (2009) que trabalharam sob chuva natural, no cultivo de cebola em um Latossolo Vermelho distrófico típico, sob plantio direto, cultivo mínimo e cultivo convencional. Os autores verificaram que as perdas totais de solo e água no período mais chuvoso foram 69% e 36% menores, respectivamente, no plantio direto do que no convencional. De natureza igual, Souza (2013) verificou que houve redução de 90% e 45% nas perdas de solo e água, respectivamente, no plantio direto em relação ao convencional, em cultivo de repolho. Sendo que o plantio direto reduziu em 66% as perdas de solo em relação ao plantio convencional. Em relação a perda de fósforo os resultados foram semelhantes ao encontrado por Caixeta et al (2009), sendo apurado que as taxas de enriquecimento de P foram maiores nos sistemas conservacionistas, devido ao aumento de nutrientes na camada superficial do solo.

2.2 MERCADOS DA CEBOLA NO BRASIL

Originária da Ásia Central, a cebola (*Allium cepa L.*) é uma das olerícolas condimentares mais cultivadas no mundo (MELO et al., 2010). Reputa como a terceira olerácea em termos econômicos no Brasil, perdendo apenas para tomate e da batata (RICCI et al., 2014). No aspecto socioeconômico, 88% do cultivo da cebola é realizada em regime familiar (COSTA & RESENDE 2007), envolvendo cerca de 60.500 famílias em todo país (EPAGRI, 2013), gerando cerca de 250 mil empregos apenas no setor de produção (VILLELA, 2005). Assim, contribui para a sustentabilidade de pequenas propriedades e garante a permanecia dos agricultores na zona rural (COSTA & RESENDE, 2007).

Conforme dados da Secretaria de Estado de Agricultura, Pecuária e Abastecimento de Minas Gerais Subsecretaria do Agronegócio, o Brasil, em 2017, produziu a média de 28,1 kg ha⁻¹ de cebola em uma área de aproximadamente 57 mil ha¹. O estado de Santa Catarina destaca-se nacionalmente como líder na produção da cultura, apresentando a maior área cultivada e a maior produção, representando 28,6% do total produzido no país, seguido por Bahia, Minas Gerais, São Paulo e Rio Grande do Sul (IBGE/LSPA, 2015). Segundo levantamentos de 2013 da Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (EPAGRI), a produção de cebola no estado de Santa Catarina caracteriza-se por apresentar aproximadamente 80% das propriedades que realizam alguma prática conservacionista, sendo que cerca de 40% trabalham com cultivo mínimo. Outro dado

importante refere-se ao tamanho e à topográfica das propriedades, verificando-se que a maior concentração de cebolicultores situa-se em áreas menores que 25 hectares, em geral cultivando em áreas com média dois hectares e de topografia bastante accidentada, sendo o último um fator que potencializa a erosão hídrica do solo.

2.3 EROSÃO DO SOLO

O solo é um sistema trifásico heterogêneo complexo, formado de partículas com multiplicidade de forma, tamanho e estrutura mineralógica (REICHERT et al., 2007), originalmente em equilíbrio dinâmico, com uma biota ativa onde as raízes das plantas extraem nutrientes e o ar e a água movimentam-se sem maiores dificuldades (LANZANOVA, 2005).

A partir da revolução verde, mediante a implantação de um sistema produtivista industrial, com alta exploração dos recursos naturais, desencadeou um processo acelerado de degradação dos agro-eco-sistemas, afetando negativamente os espaços rurais. O aumento da produção em áreas não aptas, ou com parcial capacidade de suporte, sob prenho intenso do solo e operações de manejo elevaram a erosão hídrica em áreas agrícolas (TÔSTO et al., 2006). Preparos intensos, realizados frequentemente, acarretam perturbações de ordem física ao solo, sobretudo em sua estrutura. Assim, o solo submetido a cultivos intensivos têm como consequência a redução de porosidade e aumento da densidade (CARPENEDO & MIELNICZUK, 1990), acelerando a erosão que, via de regra, faz aumentar ainda mais a degradação do solo (BERTOL et al., 2008).

É de conhecimento geral que a erosão hídrica do solo em áreas agrícolas é um problema sério, com impacto ambiental e econômico decorrente das perdas (MARIOTI, 2012). De acordo com dados publicados pelo relatório da FAO de 2015, são perdidos por erosão todo ano no mundo, 25 a 40 bilhões de toneladas de solo, o que representa redução na produtividade das culturas, encarecimento do custo de produção, além de uma série de danos ambientais dentro e fora do local de origem da erosão. As perdas de sedimentos e fertilizantes causadas pela erosão hídrica pluvial em áreas agrícolas, além dos prejuízos em nível econômico da produção também trazem prejuízos ambientais de magnitude muitas vezes irreversíveis como assoreamento e poluição na rede hidrográfica, diminuindo a seção de vazão dos rios e aumentando os riscos de cheias (SANTOS et al 2010).

Conforme Carvalho et al. (2001), a erosão hídrica pode ser considerada a forma de degradação que mais contribui para improdutividade dos solos, afetando tanto terras agrícolas como áreas de vegetação natural. Em áreas agrícolas a erosão tem como principal causa, a

falta e ou baixa cobertura vegetal do terreno, uma vez que o solo estando desprotegido torna-se vulnerável à ação da água da chuva e do vento. Esse processo acarreta anualmente perdas de milhões de toneladas de solo em áreas agrícolas no país. Esse fenômeno, ainda muito presente, em função da não efetivação de práticas conservacionistas na grande maioria das áreas de produção agrícola brasileira, é negativo e potencializado em terrenos com declividade acentuada (OLIVEIRA et al ,2010).

2.3.1 Erosão hídrica pluvial do solo

A erosão hídrica pluvial é resultante da ação da chuva sobre o solo, a qual desencadeia um processo físico de desagregação, transporte e deposição, cuja complexidade se manifesta em proporção e ou energia variável, de acordo com o clima, o solo, a topografia, a cobertura e manejo do solo e as práticas conservacionistas de suporte (WISCHMEIER & SMITH, 1978; HUDSON, 1995).

Precipitações pluviométricas de alta intensidade, com grande volume e frequência elevam o risco de ocorrência da erosão. Essas características da chuva são importantes principalmente quando associadas às condições de relevo movimentado, características físico-hídricas do solo adversas, e uso da terra e manejo do solo inadequados (SANTOS et al., 2010.) Ressalta-se ainda que a erosão hídrica, por ser um fenômeno de superfície, está relacionada as condições físicas do solo na camada superficial, as quais determinam a quantidade de perda de solo e água do local (BAGATINI, 2011).

Conforme descrito por Ellison (1947) e Foster (1982), a erosão hídrica pluvial do solo se processa em três fases distintas que ocorrem de forma concomitante no tempo. A primeira fase da erosão é a desagregação que se caracteriza pelo desprendimento de partículas e pequenos agregados de solo de sua massa de origem pela ação da energia cinética das gotas da chuva. A segunda fase é o transporte onde a água acumulada escoa em forma de enxurrada arrastando consigo o solo primeiramente desagregado fazendo com que mais partículas de solo se desagreguem tornando o volume de solo ainda erodido maior. A última etapa ocorre quando o volume de material erodido ultrapassa a capacidade de transporte da mesma ocorrendo assim o processo de deposição. De acordo com Huggins (1979) na descrição do processo mecânico da erosão hidráulica, além da precipitação deve-se considerar ainda os processos hidrológicos interceptação, infiltração, retenção e detenção superficial, cujos processo ocorrem durante a ação das três fases da erosão (GUERRA, 2008; MENDES, 2006; MORGAN, 2005).

A erosão hídrica é avaliada segundo a forma com que essa se manifesta sobre a superfície do terreno (PEREIRA, 2014). As principais formas de erosão hídrica pluvial, que acometem os solos agrícolas são a erosão entre sulcos, erosão em sulcos e erosão tipo voçoroca. Conforme Foster (1982), ainda existem mais duas formas de erosão do solo, que são erosão em taludes de cursos d'água e erosão por deslizamento ou de movimento de massa. A forma mais tênue de erosão, descrita como erosão entre sulcos, é resultante da energia cinética das gotas de chuva sobre o solo descoberto. Sua ação desagregadora é tão maior quanto maior é a intensidade e o diâmetro das gotas, especialmente sobre o solo descoberto. A erosão em sulco, por sua vez, é originária da ação da enxurrada e consiste na segunda fase evolutiva do processo erosivo, onde a desagregação e o transporte se dão pela força hidráulica, causadas pelo movimento do escoamento superficial que se concentra formando sulcos no relevo (Polyakov & Nearing, 2003 apud BEZERRA. 2011). A erosão superficial em sulco, ainda pode evoluir para voçorocas, que é a forma mais acentuada de erosão do solo podendo atingir vários metros de comprimento e de profundidade, em razão do fluxo de água concentrado dentro do sulco (CAVICHIOLI, 2005 apud OLIVEIRA et al, 2015).

2.3.2 Fatores que influenciam a erosão do solo

Segundo Wischmeier & Smith (1978) e Hudson (1981), são cinco os fatores que afetam a erosão do solo: clima, solo, relevo, cobertura e manejo e práticas conservacionistas de suporte. Conforme Bertoni e Lombardi Neto (2012), os fatores causadores da erosão podem ser divididos em ativos, representados pelo clima, declividade e comprimento do declive, e os passivos, correspondentes à estabilidade do solo e densidade da cobertura vegetal. Pereira (2014) ainda acrescenta o manejo do solo como um dos fatores que potencializa a erosão quando realizado de modo incorreto. De forma mais simples, pode-se dizer que a erosão em determinado local é o resultado da ação dos fatores ativos sobre os fatores passivos (BAGATINI et al, 2011).

O regime pluviométrico e as especificidades das chuvas (quantidade, intensidade, duração e frequência), são determinantes, na amplitude de danos causados pela erosão hídrica pluvial, os quais influenciam diretamente sobre a velocidade e o volume da água da enxurrada. Buckman & Brady (1963) apud Oliveira et al, 2010, destacam que intensidade de precipitação é uma das principais características da chuva, uma vez que atua sobre o tamanho e energia cinética da gota que determinam a erosividade da chuva (fator R da Equação Universal de Perdas de Solo – USLE).

O solo representa o fator passivo na erosão. WISCHMEIER E SMITH (1978) descrevem que a erodibilidade (fator K da USLE), corresponde a fragilidade do solo sob a ação erosiva da água da chuva e da enxurrada a ela associada. Dessa forma o estado físico do solo, ao longo do perfil, são fatores determinantes no volume total de perda de solo e água. Fundamentalmente, a maior ou menor resistência do solo a ação erosiva da chuva é diretamente dependente do tipo de uso e como esse é manejado, o qual reproduz distintos graus de cobertura de resíduos, rugosidade superficial, além de afetar os atributos físicos internos do solo de formas diferentes, atuando na porosidade do solo (tamanho, distribuição e continuidade de poros) e estabilidade e distribuição de tamanho de agregados, bem como na porcentagem de matéria orgânica do solo (BAGATINI et al, 2011).

A topografia do terreno (fator LS da USLE) identificada especialmente pela inclinação do declive (S) e pelo comprimento da rampa (L) é outro fator que influencia fortemente as perdas de solo e água por erosão hídrica. Hudson (1981) determina que a perda de solo por unidade de área está relacionada de forma proporcional ao comprimento da rampa elevado ao expoente 0,5 e à inclinação do declive elevada ao expoente 1,5. Com isso, a medida que esses fatores aumentam, também se eleva a capacidade de transporte das partículas de solo pela enxurrada, assim como a própria capacidade desta de desagregar solo, por ação de cisalhamento, principalmente quando concentrada nos sulcos direcionados no sentido do pendente do terreno (COGO et al, 2003).

A cobertura do solo por resíduos vegetais (fator C da USLE) representa a condição de superfície do solo com maior importância sobre o controle da erosão hídrica pluvial e do escoamento superficial (Hudson, 1995). A manutenção bem como permanência dos resíduos culturais sobre o solo é imprescindível, para sustentabilidade dos modelos agrícolas, pois os resíduos atuam como uma barreira dissipadora da ação desagregante da gota de chuva sobre a superfície do solo, evitando a formação de selamento superficial, o que por sua vez favorece a infiltração da água da chuva. Os resíduos culturais depositados na superfície criam tortuosidade sobre o terreno que por sua vez age diminuindo a velocidade da enxurrada que por consequência, proporcionam deposição do solo previamente desagregado que se encontra na fase de transporte, dentro da área de controle (COGO et al., 2003). O fator cobertura ainda influencia fortemente na manutenção e ou aumento da matéria orgânica do solo, o que contribui na formação de agregados mais estáveis, em virtude da ação cimentante e aglutinante oriundo da matéria orgânica (BRANDÃO & SILVA, 2012).

O sistema de manejo aplicado ao solo (contido no fator C), é um dos fatores de maior representatividade sobre a perda de solo e água pela erosão hídrica pluvial em áreas agrícolas.

Todavia verifica-se que o efeito do método de preparo empregado no solo apresenta resposta diferenciada sobre o que é perdido em solo e água, uma vez que ao alterar as condições físicas internas e externas edáficas altera-se também a erosão e a ação da enxurrada (BAGATINI et al., 2011). Verifica-se que área cujo solo é mobilizado de forma mínima, como é visto no plantio direto, as perdas de água pela enxurrada são superiores quando comparadas a solos escarificados (Gilles et al., 2009). Solos escarificados, em razão da maior rugosidade superficial produzida pelo método de preparo, tem sua capacidade de infiltração e retenção de água maximizada, contribuindo assim para perdas menores de água. Entretanto, quando se avalia as perdas de solos, em sistemas de menor mobilização do solo, por apresentar maior grau de consolidação superficial, onde há presença de resíduos culturais sobre o solo, os volumes de solo perdidos são bastante reduzidos, principalmente quando comparados com solos com alta mobilização. (Castro et al., 2006; Gilles et al., 2009). Resultados de pesquisas atestam que a efetividade dos preparos conservacionistas realizados sobre o solo, na gestão da erosão de lavouras, contribui com reduções que vão de 50 a 95% nas perdas de solo, em relação a solos preparados de modo convencional (COGO, et al., 2003).

Por último, as práticas conservacionistas de suporte (fator P da USLE), representam técnicas de natureza mecânica (semeadura em contorno, cultivo em faixas, terraços agrícolas), constituindo um dos principais fatores que influenciam o controle de perdas do solo e água por erosão hídrica, e são aplicadas com o objetivo de manejar a água da enxurrada, assim reduzindo sua velocidade e capacidade de transporte do escoamento (Wischmeier & Smith, 1978).

2.3.3 Perda de fósforo por erosão hídrica

A degradação do solo por erosão hídrica é um dos grandes problemas do manejo de solos cultivados, pois em geral resulta em empobrecimento (HERNANI et al., 1999, SCHICK et al., 2000, SILVA et al., 2005, BERTOL et al., 2007) devido às perdas de solo, água, nutrientes e carbono orgânico (SILVA et al., 2005). Com isto, há uma perceptível redução da produtividade das culturas e consequentemente, aumento dos custos da produção agrícola (BERTOL et al., 2007). Outro grande problema associado a erosão hídrica é o dano ambiental, em virtude da contaminação de corpos d'água e de outras áreas dentro e fora do local de origem do processo erosivo (SCHICK et al., 2000).

No plantio direto, a adubação é realizada em superfície ou próximo dela, dependendo do tipo e grau de mobilização do solo nesse tipo de manejo, potencializando as perdas porque

a erosão é superficial. No preparo convencional em que os adubos são incorporados em profundidade, as perdas tendem a serem menores uma vez que a ação da erosão não atinge essa profundidade. Em geral, as concentrações de nutrientes na enxurrada são maiores nos sistemas conservacionistas de manejo de solo, enquanto as perdas totais de nutrientes são maiores nos sistemas convencionais (GUADAGNIN et al, 2005).

A concentração dos nutrientes no solo é dependente das características mineralógicas, da concentração de matéria orgânica, da quantidade e forma de adubação e de cobertura e manejo do solo (MELLO, 2002). Por sua vez o teor de um elemento químico na água da enxurrada, é dependente especialmente da concentração desse no solo, o qual se relaciona com o tipo de solo, adubação e tipo de manejo aplicado (GUADAGNIN, 2003). A água de enxurrada pode conter valores relevantes de fertilizantes, uma vez que a adubação, principalmente quando se trata de lavouras sob manejo de plantio direto, são aplicados em superfície ou próximo dela no momento do plantio ou semeadura (LACERDA et al., 2015). No entanto, as maiores perdas de nutrientes por erosão são verificadas nos sedimentos erodidos em relação aos que se perde na água de enxurrada (GROHMANN & CATANI, 1949).

O processo de perda de nutriente pela erosão transcorre de modo seletivo no solo, visto que a matéria orgânica, bem como as partículas finas do solo, que contém maior concentração em nutrientes são mais susceptíveis de serem transportadas no momento da enxurrada do que frações granulométricas mais grosseiras do solo (TÁVORA et al., 1985). Assim o volume total de nutriente que é perdido via erosão, é resultado da concentração do elemento no material erodido, como o volume de material transportado por erosão (BERTOL et al., 2003; GUADAGNIN, 2003).

Entre os elementos aplicados nas culturas agrícolas, o P é o que comumente pode restringir o pleno desenvolvimento das plantas, por ser fortemente adsorvido pelos minerais do solo, em especial nos solos tropicais (ERNANI, 2008). Além disso, a grande demanda de fosfatos nos solos agrícolas para suprir as necessidades das culturas, é limitada pelo elevado custo dos fertilizantes (RESENDE et al., 2006). Burwell et al. (1975), em avaliação de perdas do solo em experimentos com distintas espécies de cobertura vegetal, verificaram que os teores de P contidos nos sedimentos correspondiam a 95% do total contido na enxurrada. Assim, perdas desse elemento via erosão hídrica, mesmo em baixa concentração, representam grande custo que deve ser reposto para garantir a produtividade das culturas (BERTOL et al., 2004). A principal forma de perda de P por erosão em sistemas agrícolas é via escoamento superficial, pelo fato do elemento apresentar baixa mobilidade no solo (FAVARETTO, 2002),

podendo ser perdido adsorvido as partículas sólidas ou solúveis na água (SOUZA, 2011; BERTOL et al., 2003).

Peles (2007) conforme revisão literária descreve que o processo inicial da perda de fósforo pelo escoamento superficial dá-se pelos processos de dessorção e dissolução do nutriente, oriundo da aplicação de fertilizantes minerais e orgânicos e dos restos culturais. Esses processos são a causa da extração do elemento do solo e processa-se a partir da inter-relação da chuva com a superfície do solo, antes do princípio do escoamento superficial. As partículas coloidais do solo contidas na água da enxurrada têm a capacidade de adsorver o fósforo dissolvidos na água e diminui seu teor na forma solúvel reativa e, como resultado, aumenta seu teor na forma particulada, especialmente de elementos com alta habilidade de retenção no solo, como é o caso do fósforo. Conforme Sharpley et al., (1994), dessa maneira, a reação de adsorção proporciona a existência do elemento sobre a forma particulada, por sua vez a reação de dessorção a propicia a presença do elemento na forma dissolvida. O fósforo é um elemento que apresenta alta reatividade química, dessa forma na natureza na sua forma pura não é encontrada (LOPES, 1998). Conforme o mesmo autor, o aumento de fósforo no solo, principalmente no plantio direto, deve-se a não mobilização do solo, diminuindo o contato entre os colóides e o íon fosfato, que por sua vez reduz as reações de adsorção, e a baixa mineralização dos resíduos orgânicos desenvolve formas orgânicas de fósforo menos propensas às reações químicas de adsorção. Segundo Fancelli, (2000) o fósforo na presença de elementos como o alumínio, ferro (em pH baixo) e cálcio (em pH elevado) forma precipitados de baixa solubilidade. Assim, perdas de fósforo nos agrossistemas estão relacionadas com o escoamento superficial visto à sua pequena mobilidade no solo (FAVARETTO, 2002).

3. HIPÓTESES

1. O cultivo de cebola na sequência de soja resulta em maior erosão do que na sequência de milho, independentemente do tipo de manejo do solo, devido à maior massa e cobertura superficial resultante do resíduo de milho.
2. As perdas de água, solo e fósforo por erosão hídrica são menores no plantio direto do que no preparo convencional, independentemente do tipo de resíduo cultural antecedente, devido à maior cobertura do solo no plantio direto.
3. Na erosão hídrica, as perdas de solo no cultivo de cebola são mais influenciadas do que as perdas de água, tanto na comparação de tipo de manejo do solo, quanto, de tipo de cultivo antecessor à cebola, devido ao limite de infiltração de água no solo.
4. As perdas de fósforo por erosão hídrica diminuem com o aumento de número chuva simulada aplicado durante o ciclo da cebola, com maiores valores no plantio direto do que no preparo convencional, independentemente do tipo de resíduo da cultura antecessora.

4. OBJETIVOS

4.1 GERAL

- Determinar o efeito da forma de manejo do solo e do tipo de resíduo cultural nas perdas de solo, água e fósforo por erosão hídrica, em condição de chuva simulada sobre um Cambissolo Húmico.

4.2 ESPECÍFICOS

- Quantificar as perdas de solo e água por erosão hídrica e de fósforo solúvel na água de enxurrada e particulado nos sedimentos, durante o ciclo da cebola cultivada na forma de plantio direto e preparo convencional do solo, ambas sucedendo os cultivos de soja e milho.
- Correlacionar às condições de superfície e parâmetros relacionados à enxurrada com as perdas de solo, água e fósforo.

5 MATERIAL E MÉTODOS

5.1 LOCALIZAÇÃO DO EXPERIMENTO, CARACTERIZAÇÃO DO SOLO E HISTÓRICO DA ÁREA DE ESTUDO

A pesquisa foi realizada no município de Lages, Santa Catarina, na área experimental do Setor de Conservação do Solo, do Centro de Ciências Agroveterinárias - CAV, campus da Universidade do Estado de Santa Catarina-UDESC, nas coordenadas 27° 47' latitude Sul e 50° 18' longitude Oeste de Greenwich. O clima da região é descrito como Cfb (subtropical úmido, chuvoso e com verões frescos), conforme a classificação de Köppen. O relevo é definido como suave-ondulado, com altitude acerca de 900 metros e a declividade média no local do experimento é de $0,134 \text{ m m}^{-1}$, variando de $0,124 \text{ mm}^{-1}$ a $0,145 \text{ m m}^{-1}$ entre as parcelas.

A precipitação média anual de 1.533 mm, e o valor médio anual do índice de erosividade (EI_{30}) de $5.033 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$ (SCHICK et al., 2014a). O solo do local é classificado como Cambissolo Húmico Alumínico léptico de acordo com Embrapa (2013), de textura franco-argilo-siltosa, com granulometria média de 196 g kg^{-1} de areia, 412 g kg^{-1} de silte e 392 g kg^{-1} de argila (RAMOS, 2015). Bertol & Almeida (2000) definiram que para o Cambissolo estudado a tolerância de perda de solo igual a $0,74 \text{ mm ano}^{-1}$; a erodibilidade do solo é de $0,0175 \text{ t ha h ha}^{-1} \text{ MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ (SCHICK et al., 2014b).

Na área experimental, as pesquisas sobre erosão hídrica com simulação de chuva foram iniciadas em 2006; antes disso a vegetação do local era constituída por campo nativo. No mesmo ano o cultivo de inverno foi realizado com ervilhaca (*Vicia sativa* L.) e aveia preta (*Avena strigosa* Schreb.), seguido de outras culturas para manutenção do sistema de rotação. No ano agrícola 2009/2010 implantou-se para fins de pesquisa as culturas de milho (*Zea mays* L.), soja (*Glycine max* L.), feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) e o consórcio de milho e feijão. No inverno de 2010 a área recebeu a cultura do trigo (*Triticum aestivum* L.) e na safra de verão 2010/2011 as culturas da soja e milho (semeados no sentido e perpendicular ao declive). O cultivo de inverno de 2011 foi de ervilhaca e azevém (*Lolium multiflorum* Lam.). No ano de 2013, seguiram-se os cultivos de aveia preta e posteriormente soja, sob semeadura direta. O cultivo de inverno de 2014 foi com aveia preta. As unidades experimentais, mantidas como parcelas testemunhas desde o ano de 2009 não receberam cultivo e foram conservadas livres da incidência de plantas invasoras por meio de capinas e aplicação de herbicidas.

A última pesquisa antes desta, realizada na área experimental, ocorreu entre outubro de 2016 e maio de 2017, em que o solo foi manejado do seguinte modo: quatro parcelas na forma de preparo convencional (uma aração e duas gradagens) e quatro parcelas na forma de semeadura direta (sem preparo do solo), cultivadas do seguinte modo: no convencional duas com soja e duas com milho e na semeadura direta também duas com soja e duas com milho. Entre maio e agosto de 2017 o solo permaneceu em pousio, com os resíduos culturais de soja e milho mantidos sobre o solo após a colheita, nas respectivas parcelas. Duas parcelas adicionais foram conduzidas sem cultivo do solo nessa época, preparadas com uma aração e duas gradagens (controle), também mantidas em pousio, com o solo descoberto. Sobre essa condição foi conduzida a presente pesquisa.

5.2 UNIDADE EXPERIMENTAL

A pesquisa foi realizada com um total de dez unidades experimentais, ou parcelas, cada uma com dimensões de 11 m de comprimento no sentido do declive e 3,5 m de largura (IAPAR, 1975), totalizando 38,5 m². Em cada parcela, a delimitação das laterais e da extremidade superior foi feita com chapas galvanizadas de 0,2 m de altura, cravadas 0,1 m no solo, e na extremidade inferior foi acoplada uma calha que era conectada a um tubo de PVC de 75 mm de diâmetro e 6 m de comprimento com a função de direcionar o escoamento superficial até uma trincheira onde foram coletadas as amostras de enxurrada.

5.3 TRATAMENTOS

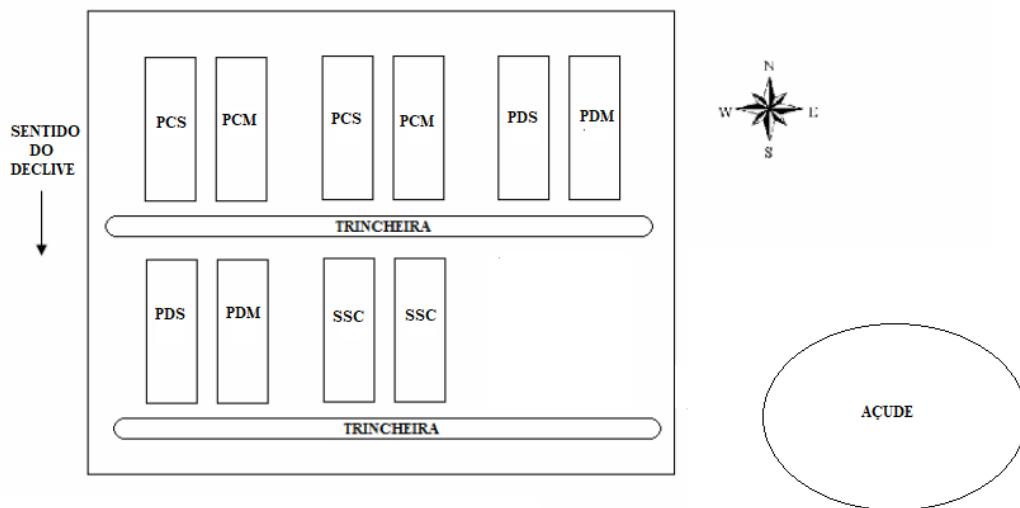
Para a pesquisa, em nível de campo, foram implantados cinco tratamentos, com duas repetições(Figura 1). Os cinco tratamentos foram assim estruturados.

1. Plantio de cebola sem preparo prévio do solo, com sulcamento apenas na linha de plantio, sobre o resíduo cultural da soja remanescente (PDS).
2. Plantio de cebola sem preparo prévio do solo, com sulcamento apenas na linha de plantio, sobre o resíduo cultural do milho remanescente (PDM).
3. Plantio de cebola em solo preparado com uma aração + duas gradagens + destorroamento manual com enxada, sobre o resíduo cultural da soja remanescente (PCS).
4. Plantio de cebola em solo preparado com uma aração + duas gradagens + destorroamento manual com enxada, sobre o resíduo cultural do milho remanescente (PCM).

5. Solo sem cultivo, descoberto e preparado com uma aração e duas gradagens (SSC - controle).

Os sulcos nos tratamentos PDS e PDM foram abertos no sentido do declive com auxílio de uma semeadora, distanciados 0,3 m um dos outros e profundidade de 0,08 m, enquanto, nos tratamentos PCS e PCM, os sulcos foram abertos manualmente com auxílio de enxada. A aração foi realizada com arado de três discos, na profundidade de trabalho de 18 a 20 cm. A operação de gradagem foi conduzida com uso de grade niveladora contendo dois conjuntos de discos, um conjunto com 12 discos recortados, a frente, e outro com 12 discos lisos, atrás, na profundidade de 10 a 12 cm. Todas as operações de preparo do solo foram realizadas no sentido do declive, devido primeiramente a questões práticas de implantação, e em segundo por a literatura descreve que a eficiência máxima do cultivo em contorno é de 50% na redução da erosão hídrica. O preparo do solo foi realizado no dia 15 de agosto, de acordo com os tratamentos recém descritos. Em todos os tratamentos, 11 sulcos foram abertos em cada parcela.

Figura 1. Croqui da distribuição dos tratamentos na área experimental



Adaptado de KAUFMANN, 2017.

5.4 IMPLANTAÇÃO E MANEJO DA CULTURA DE CEBOLA

Para o estudo foram usadas mudas de cebola com 80 dias de idade, cultivar 362 Crioula Alto Vale, com ciclo de aproximadamente 120 dias desde o transplante até a colheita,

fornecidas pela Estação Experimenta da EPAGRI de Ituporanga. Em 07 de agosto de 2017, foi realizado o fracionamento do resíduo de milho, de forma manual, para facilitar a operação de preparo do solo. O fracionamento foi realizado com auxílio de facão, cortando a palha em frações de \pm 30 cm. O resíduo da soja não foi fracionado. Entre 18 e 22 de agosto foi realizado o plantio. Nos dias 18 e 19 foi realizado o plantio dos tratamentos PDS e PDM, além de uma das parcelas do PCM. No dia 19 ocorreu uma chuva de 6 mm e, devido a isso, o término do plantio foi realizado nos dias 21 e 22 de agosto. A densidade de plantio compreendeu um “stand” de 1.254 plantas/parcela = 10 plantas /m = 114 plantas/linha de 11 m na parcela¹.

A adubação química foi realizada com 300 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (superfosfato simples) e 100 kg ha⁻¹ de K₂O (sulfato de potássio). A adubação nitrogenada correspondeu à dose total de 100 kg ha⁻¹ de N (ureia) aplicada em cobertura com a seguinte distribuição temporal: 15% no momento do plantio, 42% 55 dias após e 43% 88 dias após o plantio. Os fertilizantes minerais aplicados na base foram distribuídos a lanço nos sulcos de plantio e incorporados ao solo manualmente com enxada. As quantidades do corretivo e dos fertilizantes minerais seguiram as recomendações da Comissão de Química e Fertilidade do Solo (CQFS RS/SC, 2016).

O manejo de plantas invasoras foi realizado com produtos químicos e manualmente com capinas, nas parcelas com preparo convencional. Foram realizadas duas aplicações nos dia 27 de outubro de 2017 e 24 de novembro de 2017, com o herbicida *Select One Pack-ADAPAR* (Ingrediente Ativo: Cletodim 120 g/L) utilizando 30 ml do produto para um tanque de 20 litros. A colheita foi realizada quando as plantas apresentavam mais de 70% de tombamento no dia 21 de dezembro de 2017 (121 dias após o plantio). Foram colhidas 20 plantas para avaliar a produtividade da cultura em cada parcela, de forma intercalada, sendo da parte superior, central e inferior, de modo a formar uma amostra representativa.

Após a colheita das plantas, realizou-se a retirada de raízes e o “destalamento” das plantas de forma a deixar uma porção de aproximadamente 1 cm do pseudocaule. A classificação dos bulbos foi feita com base em seu diâmetro transversal (DT), utilizando para isso um paquímetro digital. A classificação conforme o DT seguiu o critério descrito na Portaria N° 529, de 18 de agosto de 1995 do Ministério da Agricultura, do Abastecimento e da Reforma Agrária (MAPA) que descreve normas de identidade, qualidade, acondicionamento, embalagens e apresentação da cebola.

¹ Representação de 324,675 plantas/ha.

Durante a pesquisa, intempéries decorrentes de chuvas e de variação de umidade do solo no momento de plantio, influenciaram o número de plantas estabelecidas em algumas parcelas (Tabela 2). Após o plantio, ocorreram 28 dias sem chuvas. As parcelas mais afetadas pela estiagem foram aquelas que não receberam chuvas imediatamente após o plantio, ambas de preparo convencional. Além disso, em 10 novembros (91 dias após o plantio) a área experimental foi atingida por uma chuva de granizo, causando danos às plantas, mais acentuados em uma parcela do tratamento PDM e em duas do PDS, o que, por fim, afetou a área foliar e reduziu o número de folhas viáveis e, com isso, a cobertura do solo pelas plantas e a produtividade da cultura.

5.5 APARELHO SIMULADOR DE CHUVA USADO E CHUVAS SIMULADAS APLICADAS

O simulador de chuva utilizado é do tipo Empuxo, de braços rotativos, desenvolvido por Bertol et al. (2012), contendo 10 braços de 7,5 m de comprimento cada um, ligados a uma torre central a 2,4 m de altura, atuando sobre uma área de 314,16 m². Em cada braço do simulador há três registros do tipo de gaveta, em aço inoxidável, cada um comportando um aspersor tipo S.S.CO. VEEJET 80/100, o qual é rosqueado no sentido vertical de modo que o leque de água se mantenha paralelo à extensão do braço. Assim, 30 registros e aspersores estão distribuídos nos braços formando uma espiral concêntrica perfeita, dos quais apenas 15 foram usados para a aplicação das chuvas. O simulador operava sincronicamente sobre duas parcelas (Figura 2), as quais estavam distanciadas 3,5 m uma da outra, em cujo espaço se situava o simulador.

Figura 2. Aparelho Simulador de chuva de braços rotativos do tipo Empuxo operando sobre duas parcelas simultaneamente.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2017.

Ao longo do ciclo da cultura, foram efetuadas quatro chuvas simuladas denominado de “teste de chuva”, em cada um dos cinco tratamentos, em cada momento, totalizando 20 chuvas durante a pesquisa, com duração de 60 minutos e intensidade constante planejada para 65 mm h⁻¹, realizadas nas seguintes datas: 16/09/2017 (25 dias após o plantio), 17/10/17 (57 dias após o plantio), 17/11/2017(88 dias após o plantio) e 20/12/17(120 dias após do plantio) (Figura 3).

Figura 3. Teste de chuva simulada em dias após o plantio da cebola.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

A água aplicada para gerar a chuva simulada era oriunda de uma represa (açude) próxima à área experimental. Para a captação foi empregado um conjunto moto bomba, com motor Honda modelo GX 390 com 13 CV e bomba Hidrojet JET modelo DC 660/18, e

tubulação de PVC de engate rápido, com canos de diâmetro de 75 mm e 6 m de comprimento cada um, utilizados para conduzir a água ao simulador.

Para a intensidade planejada de 65 mm h^{-1} trabalhou-se com 15 aspersores abertos, sob pressão de 41,4 kPa. O controle da pressão era realizado de modo manual através de um registro localizado próximo ao manômetro e distanciado aproximadamente 6 metros da entrada de água no simulador de chuva.

5.6 DETERMINAÇÕES E COLETAS EFETUADAS EM CAMPO ANTES DE REALIZAR AS CHUVAS

Em 20 de julho de 2017, antes da instalação dos tratamentos, foram coletadas amostras do solo, deformadas e não deformadas, nas camadas de 0-0,05, 0,05-0,1, 0,1-0,15 e 0,15-0,2 m, em cada parcela. Nas amostras deformadas, foram determinadas a densidade das partículas (Método do balão volumétrico) e a estabilidade de agregados em água – DMP (Método do peneiramento por via úmida padrão - Kemper & Chepil, (1965). Sendo expressa pelo diâmetro médio ponderado. Nessas amostras ainda foi determinado o teor de fósforo (P) extraível. O P foi extraído do solo por duplo ácido (Mehlich-1) e determinado por colorimetria, conforme Tedesco et al. (1995). Nas amostras indeformadas, a densidade do solo foi determinada por pesagem e o volume de poros (total, macro e microporos) por sucção em mesa de tensão de areia. Essas análises e procedimentos foram realizadas também após a colheita da cebola.

A massa seca de resíduo cultural da soja e milho contido na superfície do solo foi quantificada no dia 08 de julho de 2018, antes do preparo do solo para a implantação da cultura (Tabela 1). Para isso foi utilizado um quadro de 50x50 cm para delimitar a área de coleta. A determinação foi feita por secagem e pesagem. Na mesma data foi avaliada cobertura superficial do solo, aplicando o método da corda marcada (SLONEKER; MOLDENHAUER, 1977). A corda era estendida transversalmente sobre o solo em duas direções, e contabilizava-se os pontos marcados na corda que coincidissem com uma peça de resíduo na superfície do solo. Como a corda tinha 100 pontos marcados, as leituras correspondiam à porcentagem de cobertura do solo por resíduo cultural.

Tabela 1. Massa seca do resíduo cultural nos tratamentos (MS) antes do preparo do solo e cobertura de resíduo cultural (CS) após o preparo do solo, por tratamento.

Tratamentos	MS (t/ ha ⁻¹)	CS (%)
PDM	10,29	80
PDS	4,70	39
PCM	9,66	39
PCS	3,62	8

PDM=Plantio direto com resíduo do milho, PDS= Plantio direto com resíduo da soja, PCM= Plantio convencional com resíduo do milho, PCS= Plantio convencional com resíduo da soja.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

5.7 DETERMINAÇÕES E COLETAS REALIZADAS EM CAMPO DURANTE A APLICAÇÃO DAS CHUVAS

Imediatamente antes de cada chuva simulada, eram coletadas amostras de solo, em um ponto por parcela, nas profundidades de 0-0,1 e 0,1-0,2 m, com auxílio de um trado holandês, para determinar da umidade do solo em base gravimétrica, seguindo a metodologia descrita em EMBRAPA (1997). O teor de água no solo foi calculado conforme a fórmula descrita abaixo:

$$Ug = (mSU - mSS) mSS-1, \text{ onde:} \quad (1)$$

Ug = umidade gravimétrica (m³ m⁻³);

mSU = massa de solo úmido (kg) e;

mSS = massa de solo seco (kg).

O tempo de início da enxurrada foi registrado em cada evento de chuva em cada unidade experimental, com auxílio de um cronômetro, a partir do início da chuva simulada. A velocidade da enxurrada foi determinada após 40 minutos do início da chuva, por parcela, no momento em que a taxa de enxurrada apresentava-se constante, de acordo com metodologia descrita por Cogo (1981) e Bertol (1995). Para avaliar a velocidade, jogava-se o corante azul de metileno (2%), com auxílio de um pissete, num ponto situado 2,5 m abaixo da extremidade superior da parcela e cronometrava-se o tempo necessário para o fluxo corado percorrer 6 m, até 2,5 m acima da extremidade inferior da parcela. Com esse tempo calculou-se a velocidade média da enxurrada na superfície do solo.

A taxa instantânea de descarga foi determinada a cada 5 min a contar do início do escoamento. Para isso, coletava-se o volume do escoamento superficial e o tempo de duração da coleta, anotando-se o volume e o tempo, com auxílio de uma proveta graduada de 2 L ou um balde graduado de 15 L e de um cronômetro. Concomitantemente foram coletadas

amostras da enxurrada em potes plásticos numerados, de massa conhecida com capacidade de 0,8 L, preenchendo-o totalmente, para determinação a concentração de sedimentos, com cujos dados foram calculadas as perdas de solo e água.

A avaliação de distribuição de tamanho dos sedimentos na enxurrada e o cálculo do D_{50} seguiu as recomendações descritas em Cogo et al. (1983). As amostras de enxurrada foram coletadas, após 40 minutos do início da chuva quando a enxurrada era constante. Para isso, um conjunto de quatro peneiras, com malhas de 2; 1; 0,5; e 0,25 mm sobrepostas da maior malha para a malha de menor, foram acopladas sobre balde de 2,5 L. Este conjunto era posicionado sob o fluxo até o preenchimento do balde. Ainda em campo, os sedimentos retidos em cada peneira eram transferidos para potes plásticos com tampas, com 0,8 L, identificados conforme o tamanho da malha. A transferência era realizada com auxílio de um pisseta. Ao término da avaliação esses potes eram levados ao laboratório para processamento.

A coleta de amostras da enxurrada para a determinação do teor de P solúvel na água foi feita em recipientes de plástico com capacidade de 50 ml, em intervalos de 10 minutos a partir do início do escoamento superficial até o fim da chuva. Para cada chuva simulada, foram também coletadas amostras da água do açude para determinação do teor de P solúvel, o qual era descontado do teor encontrado nas amostras da água da enxurrada. As amostras foram acondicionadas em caixa térmica com gelo até o término do teste de chuva, posteriormente encaminhadas ao laboratório onde eram congeladas até a filtragem e análise química em laboratório.

Os sedimentos existentes nos potes plásticos com capacidade de 0,8 L eram secos, raspados retirados dos recipientes para armazenar, para posterior análise química para determinar o teor de P.

Pluviômetros, em número de 20, eram distribuídos na área abrangida pela chuva simulada, cada um apresentando área captada de água de $53,85 \text{ cm}^2$. Ao final da chuva efetuava-se a leitura do volume de água dos pluviômetros, com ajuda de uma proveta graduada (mL) e, com os dados, calculava-se a intensidade real de chuva recém aplicada, conforme a fórmula descrita por Barbosa (2011):

$$I = 10(V_m/A/t), \text{ onde:} \quad (2)$$

I = intensidade de chuva (mm h^{-1});

V_m = média do volume de água nos pluviômetros (mL);

A = área de captação de água nos pluviômetros ($53,85 \text{ cm}^2$);

t = tempo de duração da chuva (h);

10 = fator de conversão de unidades.

Imediatamente após de cada chuva, eram coletadas amostras do solo na camada de 0-2,5 cm, com auxílio de uma espátula, uma na parte superior e outra na parte inferior da parcela, em três pontos na parte, as quais foram misturadas para o mesmo ponto de modo a formar uma amostra por ponto e duas por parcela (uma superior e outra inferior) para determinar o teor de P e, com isso, inferir sobre a movimentação do nutriente ao longo do comprimento da unidade experimental.

A cobertura do solo por resíduo cultural foi avaliada também após cada uma das quatro chuvas simuladas, por meio do mesmo método já descrito (SLONEKER; MOLDENHAUER, 1977). A rugosidade superficial do solo foi estimada logo após o término de cada chuva simulada, por meio da metodologia descrita no Apêndice C da RUSLE (Renard et al., 1996). Por este método, por meio de visualização de uma foto obtida em campo faz-se uma estimativa visual da rugosidade comparando a foto com outra contida no acervo fotográfico no guia visual da RUSLE.

5.8 NO LABORATÓRIO, APÓS A REALIZAÇÃO DAS CHUVAS.

O material que passou pela peneira de 0,25 mm, ficando contido no balde de 2,5 L, foi fracionado em laboratório em peneiras de malhas de 0,125; 0,053; e 0,038 mm e transferido para latas previamente pesadas, sendo o conteúdo restante que ficava em balde (< 0,038 mm) também amostrado. Os potes e o balde contendo o material coletado no campo e fracionado no laboratório eram levados a estufa a 60 °C para secagem completa e posteriormente pesados. Com os resultados de campo e de laboratório, em conjunto, resultou nas seguintes faixas de diâmetro de sedimentos: >2 mm; 2-1 mm; 1-0,5 mm; 0,5-0,25 mm; 0,25-0,125 mm; 0,125-0,053 mm; 0,053-0,038mm e <0,038 mm.

O cálculo para determinação da distribuição de tamanho de sedimentos na enxurrada (Índice D_{50}), foi feito a partir da divisão da massa de sedimentos secos de cada classe (>2; 2-1; 1-0,5; 0,5-0,25; 0,25-0,125; 0,125-0,053; 0,053-0,038 e <0,038 mm) pela massa total de sedimentos de todas as classes e multiplicando o resultado por 100, de modo a expressar o mesmo em porcentagem.

O índice D_{50} compreendeu o diâmetro de sedimentos em que 50% da massa destes continha sedimentos com diâmetro maior e 50% com diâmetro menor do que o D_{50} (STRECK, 1999; BERTOL et al., 2010), calculado usando-se a expressão:

$$D_{50} = \frac{(50-y_1).x_2 + (y_2-50).x_1}{(y_2-y_1)}, \text{ onde:} \quad (5)$$

y_1 = o valor de massa ou de classe de sedimentos imediatamente inferior a 50%;

y_2 = o valor de massa ou de classe de sedimentos imediatamente superior a 50%;

x_1 = o maior valor da classe de tamanho de sedimentos correspondente a y_1 ; e

x_2 = o maior valor da classe de tamanho de sedimentos correspondente a y_2 .

As amostras do escoamento superficial coletadas durante as chuvas simuladas em potes plásticos com capacidade de 0,8 L, conforme descrito, em laboratório passaram inicialmente pelo processo de pesagem, posteriormente foi adicionado ao seu conteúdo 5 gotas de ácido clorídrico - HCL 1 M - para acelerar o processo de floculação das partículas de solo. Após aproximadamente cinco dias cerca de 80% do conteúdo de água era retirado com auxílio de uma mangueira fina e um balde de forma evitar a saída de sedimento junto a água. Na sequência as amostras eram colocadas em estufa a 60 °C até a completa evaporação do líquido, após eram pesadas para quantificação da massa de sedimentos contida em cada pote.

Por fim os dados eram organizados conforme o tratamento e tempo de coleta de 10 minutos, onde os sedimentos contidos em cada pote era coletado para análise química dos sedimentos.

As anotações de peso, volume e tempo, foram registradas em bloco de notas, sendo assim utilizadas para o cálculo da concentração de sedimentos na enxurrada, perdas de solo e água, com auxílio do programa “PODEROSAO”, desenvolvido pelo professor Elemar Antonino Cassol do DS-FA-UFRGS. Para isso, os valores de intensidade e duração da chuva, declividade média do terreno nas parcelas experimentais, massa de sedimentos e taxa do escoamento superficial e tempo de coleta, foram inseridos no programa.

Para a análise química de P contido nos sedimentos erodidos pelo escoamento superficial, utilizou-se os sedimentos contidos nos potes de 0,8 L utilizados para determinação de perda de solo por erosão hídrica. Os sedimentos provenientes dos potes foram organizados em função do tratamento e tempo de coleta, nos quais o fundo foi raspado com auxílio e espátula. Os sedimentos foram misturados em uma única amostra por chuva e por tratamento, para a realização da análise química. Nessas amostras, foi determinado o teor de P extraível, aplicando o método já descrito para o solo, de acordo com Tedesco et al. (1995).

Para determinação do teor do P solúvel em água da enxurrada, foi usado o conteúdo dos potes de 50 ml. Após descongeladas, as amostras de enxurrada foram filtradas em papel filtro de 0,45 μ m de diâmetro dos poros. O teor de P solúvel na água da enxurrada foi determinado individualmente por pote (por coleta), mas o valor correspondente, por parcela, foi obtido por uma média dos mesmos e, subtraindo-se o valor obtido na água do açude. Estas

metodologias são descritas por Tedesco et al. (1995). O teor de fósforo solúvel foi determinado em espectrofotômetro, pelo método, descrito em Murphy & Riley (1962).

Nas amostras de solo coletadas na camada de 0-2,5 cm, após cada chuva simulada, foi determinado o teor de P extraível, aplicando a mesma metodologia já descrita para os sedimentos da enxurrada.

A taxa de enriquecimento do solo perdido por erosão foi determinado utilizando a metodologia descrita por Leite (2003) aonde concentração do elemento P nos sedimentos de erosão é dividido pela concentração do elemento no solo, para o estudo o valor da concentração utilizado para o calculo foi dado pela a média entre a posição superior e inferior das parcelas de cada tratamento.

5.9 AJUSTE DE DADOS

Em razão das variações verificadas na intensidade entre uma e outras chuvas simuladas (Apêndice 1) e na declividade do terreno entre uma e outras parcelas (Apêndice 2), os dados de perda total de solo foram ajustados para a intensidade de chuva planejada 65 mm h^{-1} e declividade média das parcelas de 0,123 m m^{-1} . Para consecução do fator de correção com base na intensidade da chuva, dividiu-se o valor planejado pela intensidade de chuva observada, elevando o resultado ao quadrado e, o resultado, multiplicado pela perda total de solo observada. Realizado esse ajuste, os dados de perda total de solo foram ajustados para a declividade média das parcelas de 0,123m m^{-1} . Este ajuste foi realizado multiplicando-se a perda de solo ajustada para a intensidade de 65 mm h^{-1} pelo valor adquirido da divisão do fator S do declive médio de 0,123 m m^{-1} pelo fator S do declive de cada parcela, conforme metodologia de Wischmeier & Smith (1978). O fator S é calculado por:

$$S = 0,065 + 4,56 \operatorname{sen}\theta + 65,41(\operatorname{sen}\theta)^2, \text{ onde } \theta \text{ é o ângulo do declive.}$$

5.10 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E ANÁLISE ESTATÍSTICA

Para o experimento foi empregado o delineamento inteiramente casualizado, com duas repetições por tratamento estudado. Os dados obtidos foram submetidos a análise de estatística descritiva, apresentando-se os valores de desvio padrão, média e coeficiente de variação, e análise de correlações entre variáveis.

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 PRODUÇÕES DA CEBOLA

O tópico inicial aborda os resultados referentes à produção da cebola nas variáveis, stand de plantas, peso de 20 bulbos, produtividade pelo stand de plantas, produtividade extrapolada para 1250 plantas e diâmetro de bulbos por tratamento.

Devido às condições climáticas observadas no decorrer da condução do experimento; com período de estiagem da implantação até o primeiro teste de chuva simulada, somado a chuva de granizo que atingiu o experimento aos 91 dias após a implantação do experimento, o número inicial de 1250 plantas, sofreu severa alteração do stand, como pode ser verificada na Tabela 2. Observa que as duas parcelas do tratamento PDM, bem com a parcela 1 do tratamento PDS e PCM primeira repetição, foram as que mantiveram o número de plantas mais próxima ao stand previsto de 1250 plantas. Isso se deve especialmente ao fato dessas parcelas, as quais foram implantadas nos dias 18 e 19 de agosto de 2017, terem recebido, um volume de 6 mm de chuva, garantindo assim o maior número de plantas estabelecidas na área. A parcela 2 do tratamento PDS, apesar de também implantada no dia 19 de agosto, recebendo assim o mesmo volume precipitado de chuva, apresentou stand baixo, o que é justificado devido ataque de formigas, uma semana após a implantação, que foi rapidamente controladas com o uso do formicida isca granulada Grão Verde, com composição química a base de 0,01% de Fipronil.

As parcelas do tratamento PCS, e a parcela 2 do tratamento PCM, implantadas nos dias 21 e 22 de agosto, aos quais não receberam chuva natural, ou outro tipo de irrigação até o dia do primeiro teste de chuva simulada apresentaram stand muito baixo, como pode ser verificado na Tabela 2. Cabe ressaltar a influência do sistema de cultivo, sobre o estabelecimento da cultura em situação de déficit hídrico, uma vez que esses tratamentos foram manejados de forma convencional, os quais apresentam desvantagens, como baixo armazenamento de água no solo e alta evaporação de água do solo. Em condições de estiagem, acaba por não suprir as demandas hídricas da cultura reduzindo assim o pega das mudas no solo, uma vez que a cultura necessita no mínimo de 70% de umidade da camada de 0 a 20 cm até o pleno estabelecimento (10% do crescimento vegetativo) (EMBRAPA HORTALIÇAS, 2016).

O efeito do granizo possivelmente foi mais importante na produtividade do que no stand de plantas uma vez que muitas das plantas conseguiram recuperar após os danos causado pelo fenômeno meteorológico.

Tabela 2. Stand observado e porcentagem de plantas em relação ao stand programado de 1250 plantas por parcela, em cada tratamento.

Tratamento	Stand observado	% em relação ao stand programado
PDM ₁	1095	88
PDM ₂	1000	80
PDS ₁	1030	82
PDS ₂	540	43
PCM ₁	927	74
PCM ₂	480	38
PCS ₁	550	44
PCS ₂	490	39

PDM₁=Plantio direto com resíduo do milho (parcela 1), PDM₂=Plantio direto com resíduo do milho (parcela 2), PDS₁= Plantio direto com resíduo da soja, (parcela 2), PDS₂= Plantio direto com resíduo da soja, (parcela 2), PCM₁= Plantio convencional com resíduo do milho, (parcela 1) PCM₂= Plantio convencional com resíduo do milho, (parcela 2), PCS₁= Plantio convencional com resíduo da soja (parcela 1); PCS₂= Plantio convencional com resíduo da soja (parcela 2).

Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

Em relação ao peso das amostras de 20 bulbos coletadas para avaliação de produtividade, verifica-se que houve pouca diferença entre os quatro tratamentos. No entanto observa-se ligeiro incremento no peso nos tratamentos de manejo convencional (PCS e PCM) com médias de 1,6 e 1,5 kg respectivamente, seguidos dos tratamentos PDS e PDM com peso de 1,4 e 1,3 kg respectivamente, resultado esse justificado devido à baixa população dos tratamentos convencionais que permitiu maior desenvolvimento dos bulbos sobre esse manejo. Para equação da produtividade dos tratamentos, utilizou o valor do peso médio de 20 bulbos (Tabela 3), multiplicado pelo número final do stand de plantas por tratamentos (Tabela 2), sendo também extrapolada a avaliação de produtividade para o stand programado de 1250 plantas por parcela, os resultados estão dispostos na Tabela 3.

Verifica-se que em função do maior stand final, os tratamentos sob plantio direto, foram os que obtiveram a maior produtividade total com médias de 1323 e 1094 kg nos tratamentos PDM e PDS respectivamente, seguidos dos tratamentos PCM com 1047 kg e PCS com média de 832kg.

Tabela 3. Peso de 20 bulbos de cebola e produtividade por tratamento

Tratamentos	Peso de 20 bulbos	Produtividade por stand
	-----Kg-----	
PDM	1,3	1323
PDS	1,4	1094
PCM	1,5	1047
PCS	1,6	832

PDM=Plantio direto com resíduo do milho, PDS= Plantio direto com resíduo da soja, PCM= Plantio convencional com resíduo do milho, PCS= Plantio convencional com resíduo da soja.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

Os resultados obtidos, em função dos tratamentos impostos para diâmetro médio para as diferentes classes de cebola estão apresentados na Tabela 4. Observa-se que a média encontrada nos tratamentos PCM, PDS foram de bulbos com diâmetro de 54 e 51 mm respectivamente enquadrando- se dentro da classe 3, conforme descrito na Portaria N° 529, de 18 de agosto de 1995 do MAPA, valor ligeiramente superior aos PDM e PCS, cujo o diâmetro médio obtido foram de 48 e 50 mm respectivamente ficando na classe de bulbos 2, o que conforme Costa et al. (2000), qualificam-se como bulbos comerciais.

Tabela 4. Diâmetro transversal do bulbo de cebola (mm) e classe por tratamentos.

Tratamentos	Diâmetro transversal do bulbo (mm)	Classe ou calibre
PDM	48	2
PDS	51	3
PCM	54	3
PCS	50	2

PDM=Plantio direto com resíduo do milho, PDS= Plantio direto com resíduo da soja, PCM= Plantio convencional com resíduo do milho, PCS= Plantio convencional com resíduo da soja.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

6.2 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS INTERNAS DO SOLO

6.2.1 Densidade do solo

Não houve diferença numérica expressiva entre os tratamentos quanto a densidade do solo (Ds), resultado similar ao encontrado por Loss et al (2017) que compararam o plantio direto e preparo convencional sob cultivo de cebola.

Os valores de Ds oscilaram de 1,02 a 1,38 Mg m^{-3} , portanto abaixo do limite crítico de 1,55 Mg m^{-3} , para solos franco-argilosos, conforme indicado por Reichert et al. (2003) para a referida classe textural. A menor Ds foi verificada na camada mais superficial (0-0,5 cm) nos tratamentos sob preparo convencional (SSC, PCS e PCM), devido à mobilização mecânica do solo realizado periodicamente para o controle das plantas invasoras, bem como rompimento de camadas adensadas e à incorporação dos resíduos culturais no solo.

Tabela 5. Densidade do solo, por camada, nos diferentes tratamentos estudados.

Camada cm	Tratamento				
	PDM	PDS	PCM	PCS	SSC
0-5	1,19	1,23	1,08	1,09	1,02
5-10	1,18	1,21	1,16	1,17	1,06
10-15	1,29	1,27	1,31	1,31	1,28
15-20	1,30	1,32	1,36	1,38	1,33
Média	1,24	1,26	1,23	1,24	1,17
DP	0,06	0,05	0,13	0,13	0,16
CV (%)	5	4	11	10	13

PDM=Plantio direto com resíduo do milho, PDS= Plantio direto com resíduo da soja, PCM= Plantio convencional com resíduo do milho, PCS= Plantio convencional com resíduo da soja; SSC= solo sem cobertura. Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

A menor Ds para camada de 5-10 cm foi encontrada no SSC (Tabela 6), com 1,06 Mg m^{-3} . Os demais tratamentos (PDM, PDS, PCM e PCS) não apresentaram diferença expressiva, com valores de 1,18, 1,21 e 1,16 e 1,17 Mg m^{-3} nesta camada. Para a camada de 10-15 cm, não houve diferença entre os tratamentos PCM e PCS, ambas com valores altos de 1,31 Mg m^{-3} . Mesmo sem diferença expressiva entre os tratamentos, a maior Ds na camada mais profunda (15-20 cm) foi no PCS, com 1,38 Mg m^{-3} . Para todos os tratamentos a DS apresentou uma tendência ao aumento em profundidade, similar ao encontrado por Bicalho

(2011), segundo o qual a Ds tende a aumentar com a profundidade, sendo alterada em função de teor reduzido de matéria orgânica, menor agregação e maior compactação.

Apesar de não ter diferença apreciável na Ds, pode-se verificar a influência do preparo do solo. Nos tratamentos manejados no modo convencional do solo nos tratamentos PCM, PCS e SSC, a Ds diminuiu inicialmente em relação aos tratamentos de plantio direto (PDM e PDS). Isto se deve ao efeito de ausência de mobilização mecânica do solo nos tratamentos PDM e PDS o que, conforme Voorhees (1983), é resultado da baixa eficiência das forças naturais de adesão e coesão (ciclos de secagem e umedecimento) em reduzir a densidade do solo no sistema plantio direto.

6.2.2 Porosidade do solo

O maior valor de porosidade total (PT) foi encontrado no PDM, $0,55 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, seguido dos tratamentos PDS e PCM ambos com $0,54 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, enquanto, os tratamentos com menor PT foram o PCS e SSC, $0,52$ e $0,53 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ respectivamente (Tabela 6), portanto, sem diferença expressiva entre os tratamentos. Resultados que concordam de Albuquerque et al. (2001), em cujo trabalho os valores de PT foram menores no preparo convencional do que na semeadura direta, devido maior macroporosidade criada pelo preparo do solo no convencional. Ao verificar os dados, evidencia-se tendência de decréscimo da PT do solo em profundidade. Ademais, os valores de PT para cada profundidade situaram ao redor de $0,50 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, podendo serem considerados altos e semelhantes aos verificados por Santos et al (2017), o que significa adequada continuação de poros ao longo do perfil, importante para a infiltração de água no solo.

Tabela 6. Porosidade total do solo, por camada, nos diferentes tratamentos estudados.

Camada	Tratamento				
	PDM	PDS	PCM	PCS	SSC
cm	$\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$				
0-5	0,58	0,48	0,58	0,59	0,57
5-10	0,56	0,54	0,56	0,56	0,47
10-15	0,54	0,59	0,53	0,52	0,55
15-20	0,52	0,56	0,49	0,45	0,51
Média	0,55	0,54	0,54	0,53	0,52
DP	0,03	0,05	0,04	0,06	0,04
CV (%)	5	9	7	11	8

PDM=Plantio direto com resíduo do milho, PDS= Plantio direto com resíduo da soja, PCM= Plantio convencional com resíduo do milho, PCS= Plantio convencional com resíduo da soja; SSC= solo sem cobertura. Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

Os valores de volume de microporos do solo (MIP) foram semelhantes entre os tratamentos, com o maior no PDS, $0,36 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, seguido dos tratamentos PDM, PCM e PCS com valores de $0,35 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, e o menor no tratamento SSC, $0,33 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ (Tabela 7). A maior MIP, na camada de 0- 0,05 m, foi encontrada no tratamento PDS com $0,41 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, similar ao do tratamento PDM com $0,40 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, valores esses aproximadamente 1,5 vezes maiores do que os verificados nos tratamentos sob preparo convencional PCM, PCS, SSC, de 0,28, 0,29 e $0,26 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, respectivamente. Desse modo, os valores de MIP foram semelhantes aos verificados por Andrade et al. (2010) em tratamentos manejados sob semeadura direta e preparo convencional neste mesmo solo.

Tabela 7. Microporosidade do solo, por camada, nos diferentes tratamentos estudados.

Camada cm	Tratamento				
	PDM	PDS	PCM $\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$	PCS	SSC
0-5	0,40	0,41	0,28	0,29	0,26
5-10	0,39	0,38	0,33	0,34	0,28
10-15	0,32	0,32	0,39	0,39	0,39
15-20	0,32	0,34	0,4	0,37	0,40
Média	0,35	0,36	0,35	0,35	0,33
DP	0,05	0,04	0,06	0,04	0,07
CV (%)	13	10	17	12	22

PDM=Plantio direto com resíduo do milho, PDS= Plantio direto com resíduo da soja, PCM= Plantio convencional com resíduo do milho, PCS= Plantio convencional com resíduo da soja; SSC= solo sem cobertura.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

O maior valor de macroporosidade (MAP) foi obtido no tratamento PDM (Tabela 8), com $0,20 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, seguido pelo PDS, SSC, $0,19 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$. Com $0,18 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, a menor MAP foi conferida nos tratamentos PCM e PCS. Tais resultados discordam de Silveira et al. (2009) e Silveira Neto et al. (2006), os quais verificaram maiores valores de MAP em solo sob preparo convencional em relação à semeadura direta. A provável justificativa para os resultados recai sobre a ação protetiva que o resíduo cultural teve sobre a formação do selamento superficial do solo, bem como sobre o efeito das raízes do milho em profundidade na criação de galerias após a decomposição. Observa-se também que, com exceção dos tratamentos PCM e PCS onde, na camada de 15-20 cm o volume de MAP foi de $0,09$ e $0,08 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, respectivamente, enquanto, os demais tratamentos apresentam resultados acima dos $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, para todas as camadas estudadas. Valor de $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ foi caracterizado por Thomasson, (1978) como o mínimo para que não ocorresse restrição à respiração das raízes das plantas em solos

agrícolas. A MAP apresentou tendência de aumento nas camadas mais profundas, nos tratamentos manejados sob plantio direto, diferentemente do observado nos tratamentos sob preparo convencional. Nestes, os maiores valores pode ser justificado pelo aumento da densidade do solo, o que naturalmente reduziu o volume de poros maiores nessa camada.

Nos tratamentos PDM e PDS houve apreciável diminuição do valor da MIP em profundidades a partir da camada de 0-5 cm. Contrariamente ao que ocorreu nos tratamentos de base convencional, onde os valores aumentaram a partir da camada de 0-5 cm (Tabela 7). No entanto, ao considerar as profundidades, verifica-se similitude entre os valores, indicando que, para esta variável, os tratamentos não influenciaram o que também foi verificado por Santos (2017), devido ao curto período de avaliação da pesquisa.

Tabela 8. Macroporosidade do solo, por camada, nos diferentes tratamentos.

Camada cm	Tratamento				
	PDM	PDS	PCM $m^3 m^{-3}$	PCS	SSC
0-5	0,18	0,18	0,30	0,28	0,32
5-10	0,18	0,17	0,22	0,22	0,19
10-15	0,22	0,22	0,12	0,13	0,16
15-20	0,21	0,22	0,09	0,08	0,11
Média	0,20	0,19	0,18	0,18	0,19
DP	0,02	0,03	0,10	0,09	0,09
CV (%)	11	14	52	50	45

PDM=Plantio direto com resíduo do milho, PDS= Plantio direto com resíduo da soja, PCM= Plantio convencional com resíduo do milho, PCS= Plantio convencional com resíduo da soja; SSC= solo sem cobertura.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

6.2.3 Estabilidade dos agregados do solo em água

Os valores de DMP apresentados na Tabela 9 sinalizam que não houve relevante variação na estabilidade de agregados do solo nos tratamentos estudados, ao término do ciclo de cultivo da cebola. O tratamento SSC foi o que apresentou o menor valor de DMP, em todos as camadas avaliadas, com valor de 4,05 mm, 21% menor do que a maior do que o do tratamento PDM. Isto é justificado pela ação do preparo do solo (arações e gradagens sucessivas) no SSC e o fato de no preparo convencional ter sido feito controle mecânico das invasoras, cujas ações agiram sobre a sua estrutura do solo rompendo os agregados. Os menores valores de DMP no tratamento SSC também podem ser atribuídos à maior mobilização que diminuiu o teor de carbono orgânico e, com isso, a ação biológica na estabilização dos agregados à ação da água (BERTOL et al., 2004). Isso ainda foi potencializado, no caso do tratamento PDS, pelo fato do resíduo da soja conter baixa relação

C:N, resultando em decomposição mais rápida, diminuindo a persistência da cobertura do solo (ROSSI et al., 2013). A estabilidade dos agregados do solo em água, representada pelo diâmetro médio ponderado (DMP), refere-se à capacidade do solo de resistir a ação desagregante da água (Bertol et al, 2004). Assim, o DMP serve para qualificar o solo quanto à sua resistência à deformação decorrente do manejo que pode aumentar sua vulnerabilidade à erosão hídrica.

Tabela 9. Média do diâmetro médio ponderado de agregados (DMP) estáveis em água em diferentes profundidades, nos diferentes tratamentos.

Profundidade (cm)	PDM	PDS	Tratamento		
			PCM	PCS	SSC
0-5	5,06	5,01	4,65	4,50	4,38
5-10	5,25	5,16	5,04	4,61	4,34
10-15	5,22	4,66	4,74	4,32	3,75
15-20	5,30	4,39	4,43	4,13	3,72
Média	5,21	4,81	4,72	4,39	4,05
DP	0,10	0,35	0,26	0,21	0,36
CV (%)	2	7	5	5	9

PDM=Plantio direto com resíduo do milho, PDS= Plantio direto com resíduo da soja, PCM= Plantio convencional com resíduo do milho, PCS= Plantio convencional com resíduo da soja; SSC= solo sem cobertura.
Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

O tratamento PDM foi o que apresentou maior média de DMP (5,21 mm), com pequena variação dos valores entre as camadas do solo avaliadas (Tabela 9). Isto é justificado pela não mobilização, bem como possível maior teor de carbono do solo, além da alta relação C:N do resíduo do milho, o que garante ao solo agregados mais estáveis que resistem mais à ação dos agentes desagregadores (BERTOL et al., 2004). Todavia os valores de DMP dos tratamentos PDS e PCM não mostraram expressiva variação na estabilidade de agregados do solo, mostrando o efeito importante do resíduo do milho sobre o solo mesmo quando incorporado. Cabe ressaltar que o baixo efeito de copa da cultura da cebola sobre o solo o tornou mais suscetível a ação das gotas da chuva durante todo ciclo da cultura, favorecendo assim o processo de rompimento dos agregados nos tratamentos sem resíduos, ou com resíduos de rápida decomposição como o caso da soja, em superfície.

6.3 CARACTERÍSTICAS DE SUPERFÍCIE DO SOLO

6.3.1 Rugosidade ao acaso da superfície do solo

De caráter efêmero, em razão de sua gradual redução pela ação da chuva (CORREA et al, 2012), a rugosidade ao acaso da superfície do solo, ou rugosidade aleatória (RR) corresponde a uma das condições físicas de superfície de maior relevância no que se refere ao controle das perdas de solo por erosão hídrica. Isso decorre de sua influência na infiltração e retenção de água e, principalmente, por funcionar barreira física ao livre movimento da água sobre a superfície do solo diminuindo assim a velocidade e o volume final da enxurrada e aumentando a retenção de sedimentos (CASTRO et al., 2006).

Os resultados de rugosidade aleatória visualizados no campo durante a pesquisa e expressos quantitativamente com base na interpretação de imagens constantes na metodologia do manual da Equação Universal de Perda de Solo (RUSLE) de Renard et al. (1997), são apresentados na Tabela 10. Com a aplicação de quatro chuvas simuladas, totalizando 260 mm de lâmina de água em cada tratamento, os valores de RR apresentaram grande variação. Essa variação foi temporal devido às chuvas e também espacial devido aos tratamentos de manejo. Assim, os valores de RR variaram de 24,13 a 6,35 mm. De modo geral, houve expressiva redução da rugosidade, em todos os tratamentos, no decorrer das chuvas simuladas, conforme também observado por Panacuchi et al (2010) e Ramos (2015). Os tratamentos sob plantio direto (PDM e PDS), cuja a mobilização do solo ocorreu exclusivamente na linha de plantio, havendo assim pouco alteração da condição original da rugosidade do solo, foram os que apresentaram os menores valores de RR (7,8 mm e 9,4 mm, respectivamente), correspondendo a uma diferença de 52% para os tratamentos sob preparo convencional (PCM com 16,5 mm, PCS com 17 mm e SSC com 20 mm).

Tabela 10. Rugosidade do solo (mm) nos diferentes tratamentos por testes de chuva simulada.

TESTE	PDM	PDS	TRATAMENTO		
			PCM	PCS	SSC
mm					
1	10,2	14,6	20,3	21,6	24,1
2	8,3	10,2	19,1	19,1	21,6
3	6,4	6,4	13,3	16,5	17,8
4	6,4	6,4	13,3	13,3	16,5
Média	7,8	9,4	16,5	17,6	20,0
DP	1,8	3,9	3,7	3,5	3,5
CV(%)	23	42	22	20	18

PDM=Plantio direto com resíduo do milho, PDS= Plantio direto com resíduo da soja, PCM= Plantio convencional com resíduo do milho, PCS= Plantio convencional com resíduo da soja; SSC= solo sem cobertura. Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

Verifica-se também na Tabela 10, que nos tratamentos sob preplano convencional (PCM, PCS e SSC), a partir do primeiro teste de chuva simulada, houve redução gradual, porém pequena, da rugosidade do solo. Esse fato pode estar associado ao efeito das capinas periódicas realizadas para o controle de plantas espontâneas bem como à remoção do encrustamento superficial no tratamento controle (SSC). Isto ocorreu mesmo que tenha sido uma ação superficial, pois criou no solo uma superfície rugosa, fazendo com que a redução do índice de rugosidade apresentasse pequena variação temporal. Apesar da ação da capina mecânica, a redução da rugosidade ao longo dos testes de chuva foi resultado da gradual redução de tamanho dos grandes torrões devido a ação das gotas de chuva, tornando a superfície gradualmente menos rugosa (RAMOS, 2015). Observou-se ainda que houve tendência de estabilização da rugosidade superficial ao término do quarto e último teste de chuva. Por fim, verifica-se que não houve expressiva diferença de valores de RR entre os tratamentos de mesmo manejo do solo. Com isso, pode-se inferir que o tipo de resíduo depositado sobre a superfície do solo apresentou pequena influência sobre a rugosidade do solo, sendo esse um fator mais dependente do tipo de manejo do que da espécie de resíduo vegetal remanescente sobre o solo, fato esse também observado por, Ramos (2015).

6.3.2 Cobertura do solo por resíduo cultural

Os tratamentos manejados sob plantio direto com cobertura do solo por resíduo de milho (PDM) e por resíduo de soja (PDS) apresentaram maior porcentagem de área coberta do que os de preparo convencional com os mesmos resíduos (PCM e PCS) (Tabela 11). Isto ocorreu porque os resíduos não foram incorporados ao solo nos tratamentos de plantio direto, como fora verificado também por Bagatini et al. (2011). Além disso, o tratamento PDM apresentou maior cobertura do solo ao longo de todo ciclo da cultura da cebola, com cobertura de 73% ao final do ciclo da cultura, seguido do PDS. Isso é atribuído as diferenças entre as duas famílias botânicas das culturas remanescentes (milho e soja), respectivamente gramínea e leguminosa, quanto a produção de biomassa vegetal e resistência de seus resíduos a decomposição (ROSSI et al. 2013). O resíduo de milho por possuir uma alta relação C/N e elevado teor de lignina, apresenta uma taxa de decomposição e taxa de mineralização lenta, devidos ao seu conteúdo de nitrogênio no resíduo cultural ser baixo, ao passo que o resíduo da soja, que apresenta um relação C/N baixa, com taxa de decomposição mais elevada que a do milho (NUNES et al. 2006; MALUF et al. 2015).

Essa mesma tendência ocorreu nos tratamentos preparo convencional, PCM e PCS, embora com valores de cobertura do solo menores do que naqueles de semeadura direta. A diferença nos valores de cobertura do solo gerada pelo resíduo cultural é também justificada pelo tipo de preparo do solo (plantio direto – sem preparo e preparo convencional – aração e gradagem) e pelo tipo de implemento usado para realizar o preparo do solo (semeadora e arado+grade).

No tratamento sem cultivo utilizado como controle, o qual foi manejado conforme a metodologia (WISCHMEIER & SMITH, 1978), o solo permaneceu sem cobertura superficial durante todo período de pesquisa.

Tabela 11. Cobertura do solo por resíduo cultural nos diferentes tratamentos por teste de chuva simulada.

TESTE	PDM	PDS	TRATAMENTO		
			PCM %	PCS	SSC
1	79	42	19	5	0
2	79	38	19	3	0
3	78	36	15	0	0
4	73	32	14	0	0
MÉDIA	77	37	17	2	0
DP	2,87	4,16	2,63	2,45	0
CV(%)	4	11	15	122	0

PDM=Plantio direto com resíduo do milho, PDS= Plantio direto com resíduo da soja, PCM= Plantio convencional com resíduo do milho, PCS= Plantio convencional com resíduo da soja; SSC= solo sem cobertura.
Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

A cobertura do solo pelo resíduo cultural diminuiu ao longo da condução do experimento, embora fracamente, para todos os tratamentos avaliados. Essa pequena diminuição possivelmente deveu-se ao curto período de tempo do ciclo da cebola, associado às características climáticas da região do estudo (altitude elevada, temperaturas baixas e estiagem), o que fez com que a decomposição dos restos vegetais fosse lenta e pequena, conforme Amaral et al. (2008). Atribui-se essa pequena redução da cobertura do solo em parte ao arraste dos resíduos pela ação da enxurrada, concordando com Bertol et al. (1997), Morais & Cogo (2001) e Mello et al. (2003).

6.4 PARÂMETROS RELACIONADOS À ENXURRADA

6.4.1 Tempo de início de enxurrada

O tratamento PDM foi o mais eficiente em retardar TI (Tabela 12), com 20 minutos, comparado a média de 9,5 minutos dos demais tratamentos. Isto é explicado pela alta cobertura do solo com resíduo da cultura anterior, ao longo do cultivo, o que atuou como uma barreira, criando tortuosidade na superfície do solo, retardando o escoamento e possibilitando que a água infiltrasse com mais facilidade, concordando com resultados obtidos por Volk et al. (2004). Considera-se que o tempo de início da enxurrada (TI) seja o reflexo do efeito das condições superficiais do solo sobre o retardamento da enxurrada. Dessa forma, quanto menor for o TI, menor será a quantidade de água infiltrada, ou mesmo retida na superfície do solo, o que, por fim, resulta em maior perda total de água (VOLSKI et al., 2004). A partir dos dados contidos na Tabela 12, verifica-se que o TI variou entre os testes de chuva e entre os tratamentos.

Tabela 12. Valores de tempo de início da enxurrada em diferentes tratamentos e testes de chuva simulada.

TESTE	TRATAMENTO				
	PDM	PDS	PCM	PCS	SSC
min					
1	26	26	23	25	5
2	10	6	4	3	5
3	12	11	7	12	5
4	30	6	5	3	5
MÉDIA	20	12	10	11	5
DP	9,98	9,46	8,92	10,40	0
CV(%)	51	77	92	97	0

PDM=Plantio direto com resíduo do milho, PDS= Plantio direto com resíduo da soja, PCM= Plantio convencional com resíduo do milho, PCS= Plantio convencional com resíduo da soja; SSC= solo sem cobertura.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

O menor valor de TI ocorreu no tratamento SSC. Isto é justificado pela baixa ou mesmo inexistência de barreiras sobre solo (resíduo vegetal e rugosidade) o que levou ao acelerado processo de desagregação do solo que facilitou o selamento superficial e, consequentemente e reduziu a taxa de infiltração (DULEY, 1939).

Temporalmente, o menor TI ocorreu aos 57 dias no teste 2 de chuva, enquanto, o maior ocorreu no teste 4 aos 121 dias após o plantio. Resultado explicado pela amplitude no teor de água no solo antecedente á cada teste, redução da cobertura do solo por resíduos culturais e rugosidade superficial ao longo do tempo, o que pode levar a formação de crosta na superfície do solo (BERTOL et al. 1989) especialmente nos tratamento sob manejo convencional.

6.4.2 Velocidade da enxurrada

Com $0,10 \text{ m s}^{-1}$, a menor velocidade da enxurrada (VE) ocorreu no tratamento PDM (Tabela 13), seguida dos tratamentos PDS, PCM, PCS ($0,12$, $0,17$ e $0,22 \text{ m s}^{-1}$, respectivamente). O maior valor foi verificado no tratamento SSC com $0,29 \text{ m s}^{-1}$, aproximadamente três vezes maior do que o encontrado no PDM. A menor VE no PDM, explica-se, pelo resíduo do milho que atuou criando barreiras sobre o solo, gerando tortuosidade ao livre fluxo da água, concordando com Leite et al., (2004). A VE tem influência direta na energia de desagregação e transporte de sedimentos, consequentemente atua na seleção do tamanho dos sedimentos transportados pela enxurrada (BERTOL el al.,

2010). A menor eficiência do tratamento SSC na redução da VE deve-se à menor capacidade do solo de resistir a desagregação, o que, por fim, resulta na diminuição rápida da rugosidade do solo e aumento de selamento superficial; também, promove formação de sulcos o que por fim permite o livre fluxo do escoamento da enxurrada (BERTOL et al., 2006). No SSC, a VE aumentou em 1,3 vezes do teste 1 ao teste 4 de chuva, passando de 0,25 a 0,32 m s⁻¹. Diferentemente do que ocorreu nos demais tratamentos, onde a VE não mostrou tendência de aumento com o passar dos testes de chuva simulada, devido ação da cobertura do solo por resíduos cultural, de acordo com resultados observados por Bertol et al. (2010).

Tabela 13. Velocidade da enxurrada (ms⁻¹), nos diferentes tratamentos e teste de chuva simulada.

TESTE	PDM	PDC	TRATAMENTOS		
			PCM	PCS	SSC
			m s ⁻¹		
1	0,11	0,14	0,13	0,17	0,25
2	0,10	0,13	0,18	0,22	0,30
3	0,11	0,13	0,14	0,24	0,31
4	0,08	0,08	0,20	0,24	0,32
Média	0,10	0,12	0,17	0,22	0,29
DP	0,01	0,03	0,03	0,03	0,03
CV(%)	15	21	19	15	10

PDM=Plantio direto com resíduo do milho, PDS= Plantio direto com resíduo da soja, PCM= Plantio convencional com resíduo do milho, PCS= Plantio convencional com resíduo da soja; SSC= solo sem cobertura. Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

Temporalmente, os resíduos culturais sobre a superfície do solo (tratamentos PDM e PDS) foram mais eficazes do que a rugosidade provocada pela ação do preparo do solo (tratamentos PCM, PCS e SSC) na redução da VE. Na média dos tratamentos, a redução da velocidade foi de duas vezes maiores nos tratamentos com resíduos em relação aos tratamentos sem resíduos. Isto se deve à maior efetividade do resíduo como barreiras do que a ação da rugosidade criada pelo preparo no controle da ação da água da enxurrada na superfície do solo. Dentre os resíduos, o milho no tratamento PDM foi mais eficiente do que a soja (PDS), reduziu 1,2 vezes a VE, explicada pela mais lenta decomposição do resíduo do milho, o que resultou em maior área coberta do solo ao longo do tempo.

6.4.3 Umidade gravimétrica do solo

Conforme Bagatini et al (2011), o teor de água no solo no momento da precipitação (umidade gravimétrica – UG), é uma característica que pode alterar as demais variáveis de erosão hídrica. Os teores UG, para uma mesma camada de solo avaliada e para o mesmo teste, não apresentaram diferença entre os tratamentos. Contudo, houve pequena variação entre as épocas de avaliação de chuva simulada.

Tabela 14. Umidade gravimétrica (g g^{-1}) por profundidade, nos diferentes tratamentos e teste de chuva simulada.

Camada (m)	Teste	TRATAMENTO				
		PDM	PDS	PCM g g^{-1}	PCS	SSC
0-0,10	1	0,22	0,23	0,20	0,19	0,22
	2	0,26	0,29	0,26	0,27	0,29
	3	0,24	0,24	0,23	0,22	0,26
	4	0,14	0,18	0,11	0,12	0,2
	Média	0,21	0,23	0,20	0,20	0,24
DP		0,05	0,05	0,06	0,06	0,04
	CV(%)	24	20	31	31	17
0,10-0,20	1	0,24	0,25	0,24	0,24	0,25
	2	0,29	0,32	0,32	0,27	0,27
	3	0,26	0,30	0,26	0,26	0,30
	4	0,18	0,21	0,21	0,20	0,25
	Média	0,24	0,27	0,26	0,24	0,27
CV(%)		0,05	0,05	0,04	0,03	0,02
	DP	19	17	17	13	8
	CV(%)					

PDM=Plantio direto com resíduo do milho, PDS= Plantio direto com resíduo da soja, PCM= Plantio convencional com resíduo do milho, PCS= Plantio convencional com resíduo da soja; SSC= solo sem cobertura.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

Na Tabela 14, também são descritos os valores de UG nas camadas de 0-10 e 10-20 cm de profundidade, por teste de chuva, coletados de forma antecipada aos testes de erosão nelas realizados. Verifica-se que os teores de UG nas camadas de 0-0,1 m e 0,1-0,2 m variaram de 0,11 a 0,29 g g^{-1} na camada de 0-0,1 m e de 0,18 a 0,32 g g^{-1} na camada de 0,1-0,2 m, na média dos tratamentos. O menor valor, na camada de 0-0,1 m do solo, foi 0,11 g g^{-1} no tratamento PCM, no teste 4 e, o maior, 0,29 g g^{-1} , nos tratamentos PDS e SSC no teste 2 de chuva. Já para a camada de 0,1-0,2 m, o menor valor foi 0,18 g g^{-1} no PDM (teste 4) e, o maior, 0,32 g g^{-1} nos tratamentos PDS e PCM (teste 2). No tratamento SSC, o solo manteve

mais água na camada de 0-0,1 m ($0,24 \text{ g g}^{-1}$, na média dos testes), embora, sem diferença expressiva para o PDS ($0,23 \text{ g g}^{-1}$) e do PDM (g g^{-1}). Sem diferença de UG, os tratamentos PCS e PCM apresentaram os menores valores ($0,20 \text{ g g}^{-1}$) para essa camada.

Conforme esperado, a UG foi maior nas camadas mais profundas, devido a exposição da porção superficial do solo aos raios solares e devido o vento favorecer a evaporação (CORTEZ et al, 2015). Os maiores valores de UG ocorreram nas camadas de 10 a 20 cm, em função do maior volume de microporos responsáveis pela retenção de água. Para a camada de 0,1-0,2 m, a menor UG ocorreu no PDM, com $0,18 \text{ g g}^{-1}$ e, o maior, no PDS, com $0,32 \text{ g g}^{-1}$.

Entre os tratamentos com cultivo, na camada 0-10 cm do teste 2, o PDS apresentou maior UG ($0,32 \text{ g g}^{-1}$), ficando PCS, PDM e PCM com valores intermediários e semelhantes entre si. No teste 4 houve uma apreciável redução da UG em ambas camadas amostradas, justificada pela menor incidência de chuvas naturais no período que antecedeu a última de chuva simulada, e pela temperatura mais elevada nessa época (verão).

6.4.4 Distribuição de tamanho e índice D50 dos sedimentos transportados na enxurrada

No teste 1 de chuva simulada a maior parte dos sedimentos situou-se na classe de tamanho $< 0,038 \text{ mm}$ nos tratamentos de base conservacionista, com valores de 45% no tratamento PDM e 36% no tratamento PDS (Tabela 15). Isto se deve ao efeito do resíduo cultural depositado sobre o solo que protegeu o solo do efeito desagregante das gotas da chuva, além de criar tortuosidade na superfície do solo que diminuiu o transporte de sedimentos pequenos, conforme Bertol et al (2006) e Santos (2017). No caso de PCM, PCS e SSC, a maior carga de sedimentos ocorreu na classe de 0,25-0,125 mm, como reflexo principal das características superficiais do solo no momento da avaliação. Isto ocorreu especialmente devido aos efeitos ainda presentes do preparo anterior do solo (superfície rugosa) que influenciaram na seleção de sedimentos para o transporte.

A partir do teste 2, houve leve propensão ao aumento de tamanho dos sedimentos nas classes 1-0,5 e 0-5-0,25 mm, nos tratamentos de manejo convencional (PCM, PCS e SSC). Isto é explicado, principalmente, pelas seguidas ações de capina mecânica para controle de plantas espontâneas, além da redução progressiva da cobertura do solo por resíduo cultural deixando o solo suscetível a ação da chuva. Todavia, os tratamentos sob plantio direto (PDM e PDS) mantiveram-se sem grande variação de distribuição do tamanho dos sedimentos ao longo dos 4 testes, em razão da consolidação do solo que garantiu agregados mais resistentes ao desprendimento da massa original nesses tratamentos. Bertol et al (2010), explicam que

solos, submetidos a intensa mobilização mecânica, além de aumentarem o volume de sedimento desagregado e passível ao transporte pela enxurrada, também tendendo a alterar a distribuição de tamanho dos sedimentos que são carreados pela enxurrada, tendo a aumentar a quantidade dos sedimentos de maior tamanho em relação aos de menor tamanhos. Em contrapartida os mesmos autores citam que em sistemas de cultivos, onde não haja mobilização do solo somado a presença constante de resíduo vegetal na superfície, o cenário é de menor quantidade de sedimento transportado por enxurrada, com isso há uma elevação na proporção de sedimentos menores que são transportados pela enxurrada em relação a sedimentos de maior tamanho.

Tabela 15. Distribuição percentual de diâmetro dos sedimentos transportados na enxurrada, de acordo com a classe de tamanho nos diferentes tratamentos e testes de chuva simulada.

Tratamento	Classe de tamanho (mm)	Sedimento na Enxurrada						
		Teste 1	Teste 2	Teste 3	Teste 4	Média	DP	
-----%-----								
PDM	>2,00	1	1,6	1,9	1,6	1,53	0,38	24,75
	2,00 - 1,00	2	1,3	1,4	1,3	1,50	0,34	22,44
	1,00 - 0,5	3,6	5,2	5,5	3,5	4,45	1,05	23,53
	0,5 - 0,25	9,9	11,5	12,4	8,4	10,55	1,77	16,75
	0,25 - 0,125	11,7	15,2	7,7	6,3	10,23	4,03	39,41
	0,125 - 0,053	11,9	10,6	19,1	10,3	12,98	4,14	31,92
	0,053 - 0,038	14,4	16	17,8	11,1	14,83	2,85	19,19
	< 0,038	45,4	38,5	34,1	57,5	43,88	10,20	23,26
PDS	>2,00	8,1	8,5	8,6	2,9	7,03	2,76	39,27
	2,00 - 1,00	9,2	9,4	8,6	9,6	9,20	0,43	4,70
	1,00 - 0,5	9,5	10,7	10,6	8,5	9,83	1,04	10,56
	0,5 - 0,25	8,7	12,1	11,7	10,9	10,85	1,52	13,99
	0,25 - 0,125	9,2	13,6	22,8	10,2	13,95	6,19	44,40
	0,125 - 0,053	8,4	16,4	14,1	9,2	12,03	3,85	32,05
	0,053 - 0,038	10,5	8,6	12,2	10,1	10,35	1,48	14,30
	< 0,038	36,4	20,7	11,3	38,7	26,78	13,05	48,75
PCM	>2,00	13,3	11,4	16,8	10,6	13,03	2,76	21,19
	2,00 - 1,00	10	12	19,1	21,5	15,65	5,52	35,26
	1,00 - 0,5	20,9	21	25	23,4	22,58	1,99	8,80
	0,5 - 0,25	27,4	22,1	6,7	15,7	17,98	8,91	49,57
	0,25 - 0,125	5	3,5	3,5	5,3	4,33	0,96	22,21
	0,125 - 0,053	7,9	9,9	4,2	7,8	7,45	2,37	31,85
	0,053 - 0,038	14,3	15,6	3,9	13,2	11,75	5,32	45,31
	< 0,038	1,3	4,6	20,7	2,6	7,30	9,04	123,78
PCS	>2,00	8,6	9,9	8,9	7,1	8,63	1,16	13,43
	2,00 - 1,00	16,7	11,2	13,3	14,5	13,93	2,30	16,51
	1,00 - 0,5	13,2	25,1	19,8	23,9	20,50	5,37	26,19
	0,5 - 0,25	14,6	17,4	20,6	11,9	16,13	3,73	23,16
	0,25 - 0,125	14,3	16,2	15,9	18,9	16,33	1,91	11,69
	0,125 - 0,053	12,5	12,8	12,1	11,2	12,15	0,70	5,72
	0,053 - 0,038	9,5	6	5,8	2,6	5,98	2,82	47,19
	< 0,038	10,7	1,3	3,7	9,9	6,40	4,62	72,19
SSC	>2,00	7,2	2,6	1,8	8,5	5,03	3,32	66,09
	2,00 - 1,00	10,1	1,8	17,2	13,3	10,60	6,55	61,75
	1,00 - 0,5	12,3	13,9	18,8	11,1	14,03	3,38	24,13
	0,5 - 0,25	16,7	15,7	1,9	24,9	14,80	9,54	64,44
	0,25 - 0,125	21,3	12,8	14,9	10,2	14,80	4,74	32,03
	0,125 - 0,053	4,6	16,3	13,8	12,8	11,88	5,07	42,68
	0,053 - 0,038	16	21,6	21,3	8,1	16,75	6,31	37,70
	< 0,038	11,8	15,3	10,4	11	12,13	2,19	18,09

PDM=Plantio direto com resíduo do milho, PDS= Plantio direto com resíduo da soja, PCM= Plantio convencional com resíduo do milho, PCS= Plantio convencional com resíduo da soja; SSC= solo sem cobertura.
Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

Em relação ao índice D_{50} dos sedimentos, os valores variaram de 0,26 a 2,63 mm, considerando os tratamentos e testes de chuva (Tabela 16), podendo serem considerados altos, na sua maioria, conforme verificado por outros autores (Bertol et al., 1997- 0,04 a 0,32 mm; Volk et al., 2009- 0,03 a 0,59 mm; Bertol et al., 2010 - 0,57 a 0,99 mm). Na média dos testes de chuva, o menor valor de D_{50} dos sedimentos ocorreu no tratamento PDM, como resultado combinado da eficiência do resíduo de milho e da não mobilização do solo, que cria uma melhor condição física superficial, aumentando consolidação e gradual elevação do teor de matéria orgânica do solo, o que contribui na maior resistência do solo na desagregação de sedimentos de maior diâmetro em relação aos sedimentos de menor diâmetro (ELTZ et al., 1989; BERTOL et al, 2010). No entanto, cabe ressaltar que sedimentos de menor diâmetro têm maior capacidade de adsorção de elementos químicos que poderão, ao serem transportados, empobrecer o solo no local de origem e contaminar o ambiente onde são depositados, conforme Bertol et al. (2010).

Tabela 16. Índice D_{50} dos sedimentos transportados na enxurrada por tratamento e teste de chuva simulada.

TESTE	TRATAMENTO				
	PDM	PDS	PCM	PCS	SSC
	mm				
1	0,26	0,32	0,55	0,70	2,33
2	0,72	0,94	1,63	1,57	2,63
3	0,71	0,97	1,28	1,28	1,82
4	0,95	1,17	1,38	1,59	2,26
Média	0,66	0,85	1,21	1,29	2,26
DP	0,29	0,37	0,46	0,42	0,33
CV (%)	44	43	38	33	15

PDM=Plantio direto com resíduo do milho, PDS= Plantio direto com resíduo da soja, PCM= Plantio convencional com resíduo do milho, PCS= Plantio convencional com resíduo da soja; SSC= solo sem cobertura.
Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

O maior valor de índice D_{50} dos sedimentos ocorreu no tratamento SSC, 2,26 mm, três vezes maior do que o do PDM, 0,66 mm, na média dos testes de chuva (Tabela 16) conforme também constatado por Cogo et al (1983) e Bertol et al (2010). Isto se deve, principalmente, a elevada fragilidade física da estrutura do solo no SSC devido à ausência de resíduo cultural

e constante mobilização do solo neste tratamento. Isto contribuiu para a alta quantidade de solo desagregado em sedimentos grandes passíveis de serem transportados via enxurrada conforme verificado também por Ramos (2015), potencializado pela elevada velocidade da enxurrada nessas condições de superfície desprotegida, (BERTOL et al, 2011).

Verificou-se que o D_{50} tendeu a aumentar no decorrer dos testes de chuva, com exceção dos tratamentos PCM e SSC nos quais o pico ocorreu no teste 2 de chuva simulada (Tabela 16). No tratamento PCM, provavelmente isto ocorreu em razão do alto volume de solo perdido no teste 2 em relação aos demais, enquanto, no SSC a provável justificativa é forma de erosão em sulcos predominante, com alta capacidade de desagregação e transporte de sedimentos. É importante enfatizar que são vários os fatores que influenciam o D_{50} dos sedimentos. Além da forma de erosão, destacam-se fatores como características da chuva e enxurrada e do solo, e a rugosidade, cobertura consolidação superficial do solo que atuam como dissipadores na desagregação e transporte dos sedimentos (Lopes et al., 1987; Hudson, 1995). Por fim cabe observar que os tratamentos de base conservacionista apresentaram menor valor de D_{50} em todas as avaliações, ressaltando a importância desses sistemas na conservação da qualidade física do solo.

Independentemente do manejo de solo, o tratamento onde havia resíduo de milho proporcionou menores valores de D_{50} do que onde havia o resíduo de soja, com uma diferença de 19%, considerando apenas o efeito do tipo de resíduo cultural (Tabela 17). Ao se comparar os tratamentos classificados pelo tipo de preparo, ou seja, PDM com PCM e PDS com PCS, a redução no D_{50} foi 13% e 6%, respectivamente, daqueles com plantio direto em comparação com aqueles sob preparo convencional. No entanto, ao se isolar o efeito do tipo de resíduo do efeito tipo de preparo do solo, verifica-se que o tipo preparo influenciou mais o valor de D_{50} do que o resíduo; os tratamentos sob plantio direto reduziram o D_{50} em 40% em relação àqueles sob preparo convencional, enquanto, os tratamentos sob resíduo de milho o reduziram em 13% em relação àqueles sob resíduo de soja, na média dos tratamentos e dos testes de chuva.

6.5 PERDAS DE ÁGUA

As perdas de água variaram entre os tratamentos, numericamente, com valores entre 21% e 61% em relação ao volume de chuva aplicada (Tabela 17). Comparando a média do plantio direto (PDM e PDS) com a média do preparo convencional (PCM e PCS), no entanto, a diferença foi pequena, apenas 6%, na média dos quatro testes de chuva simulada. Também foi pequena a diferença entre os tratamentos de resíduo cultural antecedente (milho e soja), para ambos os tratamentos de manejo do solo; no PDM as perdas de água foram 2% maiores do que no PDS, enquanto, no PCM essas perdas foram 4% menores do que no PCS, e no tratamento testemunha (SSC), foram apenas 3% maiores do que a média das perdas verificadas nos tratamentos com cultivo do solo.

Tabela 17. Perdas de água (%) nos diferentes tratamentos e chuva simulada.

TESTES	TRATAMENTOS				
	PDM	PDS	PCM	PCS	SSC
1	46	40	36	43	45
2	59	60	57	56	61
3	53	51	50	52	59
4	21	22	50	56	36
TOTAL	45	43	48	52	50

PDM=Plantio direto com resíduo do milho, PDS= Plantio direto com resíduo da soja, PCM= Plantio convencional com resíduo do milho, PCS= Plantio convencional com resíduo da soja; SSC= solo sem cobertura.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

Pequena diferença nos valores de perda de água é comum quando se comparam diferentes tratamentos de manejo do solo, de resíduo cultural, de quantidade de resíduo e de tipo de solo (SCHICK et al., 2000; BEUTLER et al., 2003; COGO et al., 2003; MELLO et al., 2003; LEITE et al., 2004; VOLK et al., 2004; GUADAGNIN et al., 2005; AMARAL et al., 2008; GILLES et al., 2009; BAGATINI et al., 2011). Essas pequenas diferenças são explicadas pelo fato de que a infiltração de água no solo, a qual determina finalmente o escoamento superficial (perda de água), é limitada à capacidade que o solo apresenta para infiltrar e armazenar água (BERTOL et al., 2007). Ao ser atingido esse limite de infiltração, o excesso de chuva escoa, invariavelmente (KOHNKE, 1968).

As perdas de água em geral foram altas (Tabela 17), principalmente pelo fato de que as chuvas simuladas eram de alta intensidade (65 mm h^{-1}) e com duração de uma hora. Na média dos os tratamentos, as referidas perdas foram da ordem de 48% da chuva aplicada, ou seja, dos 65 mm de chuva, 31,2 mm escoaram. Nos tratamentos de plantio direto, cerca de

286 m³ ha⁻¹ de água da chuva foi perdida, enquanto, nos tratamentos de preparo convencional e de solo sem cultivo e descoberto, essa perda foi da ordem de 325 m³ ha⁻¹. Essas perdas de água representam um importante capital ambiental, tanto no local de origem da erosão devido à possível falta que essa água faria às plantas e à vida no solo, quanto, fora do local de origem da erosão devido ao impacto com a possível contaminação do ambiente.

6.6 PERDAS DE SOLO

Para os tratamentos convencionais, a menor perda de solo ocorreu no primeiro teste de chuva, (PCM, PCS e SSC) do que nos demais testes (Tabela 18), atingindo valores máximos no segundo e terceiro, e decrescendo no quarto teste onde se verificou o menor valor nos tratamentos de base conservacionistas (PDM e PDS). Esse resultado deve-se às condições superficiais do solo, principalmente no que se refere a rugosidade superficial, resíduo cultural, sulcos, crosta e consolidação do solo (SANTOS, 2017).

As perdas de solo foram maiores no SSC, conforme esperado (Tabela 18). Tal comportamento pode ser atribuído a inexistência de cultivo e consequentemente da ausência de cobertura, com consequente exposição do solo ao impacto das gotas de chuva e a enxurrada (BERTOL et al., 2004). O conjunto desses fatores favoreceu a desagregação e transporte do solo (GUADAGNIN et al., 2005), resultando em elevada perda de solo, concordando com Schick et al. (2000a) Guadagnin (2003), Guadagnin et al. (2005), Ramos et al. (2014).

Dentre os tratamentos com cultivo, as maiores perdas de solo ocorreram no PCS, com valores 1,7; 10,1; e 25 vezes maiores do que no PCM, PDS e PDM, respectivamente na média dos testes de chuva (Tabela 18). Isto pode ser explicado pela quase inexistente cobertura sobre o solo, presumida para este tipo de sistema, e pela maior quantidade de partículas de solo suscetíveis ao transporte que tornam o solo altamente erodível (BERTOL et al., 2004). Além disso, o preparo no tratamento com aração e gradagens reduziu a infiltração da água no solo e aumentou a enxurrada em relação aos demais tratamentos com cultivo, conforme Guadagnin et al. (2004).

O tratamento PDM foi o mais eficaz no controle da erosão, reduzindo as perdas de solo em 60%, 93% e 96% em relação ao PDS, PCM e ao PCS, respectivamente, na média dos tratamentos (Tabela 18). Os menores valores podem ser atribuídos a maior cobertura do solo e ao tipo de resíduo sobre o solo, que permitiram que a energia cinética da chuva e enxurrada fosse dissipada, reduzindo sua capacidade de desagregação e transporte de partículas do solo

(SCHICK et al., 2000). Ainda, a ausência de preparo permitiu maior consolidação do solo e resistência ao sulcamento pela enxurrada (BERTOL et al., 2004).

O plantio direto teve expressivo em comparação ao convencional na redução de perda de solo; o resíduo de milho também demonstrou ser mais eficaz em reduzir as perdas de solos do que o resíduo de soja. Para o primeiro caso, a explicação pode ser atribuída à maior cobertura por resíduos culturais (Tabela 11) que dissipou a energia cinética da chuva e enxurrada, minimizando sua capacidade em desagregar e transportar partículas de solo (SCHICK et al., 2000, LEITE et al., 2004; GUADAGNIN et al., 2005, BERTOL et al., 2007). Aliado a isso, a ausência de preparo permitiu maior consolidação do solo e resistência ao sulcamento pela enxurrada (BERTOL et al., 2004, GUADAGNIN et al., 2005), concordando com Schick et al. (2000), Beutler et al. (2003), Mello et al. (2003), Cassol e Lima (2003), Leite et al. (2004), Bertol et al., (2007), Guadagnin et al. (2005), Amaral et al. (2008) e Panachuki et al. (2011).

Tabela 18. Perdas de solo (kg ha^{-1}) nos diferentes tratamentos em cada teste de chuva simulada.

TESTES	PDM	PDS	TRATAMENTOS		
			PCM	PCS	SSC
----- kg ha^{-1} -----					
1	239	520	529	859	4203
2	395	1236	4710	10284	13253
3	542	1039	1325	13011	26206
4	173	556	811	9568	11781
TOTAL	1349	3351	7375	33722	55442
MÉDIA	337	838	1844	8431	13861

PDM=Plantio direto com resíduo do milho, PDS= Plantio direto com resíduo da soja, PCM= Plantio convencional com resíduo do milho, PCS= Plantio convencional com resíduo da soja; SSC= solo sem cobertura.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

Por outro lado, as menores perdas de solo nos tratamentos com resíduo de milho do que de soja podem ser explicadas porque as gramíneas produzem maior quantidade de massa do que as leguminosas (Tabela 1), conferindo ao solo maior capacidade de estruturação e maior resistência desagregação pelo impacto das gotas da chuva e enxurrada (RAMOS et al., 2014). Isto, combinado a sua maior persistência na superfície do solo, confere às gramíneas maior capacidade de estruturação e maior resistência à do solo a desagregação pelo impacto das gotas da chuva e enxurrada do que as leguminosas (RAMOS et al., 2014).

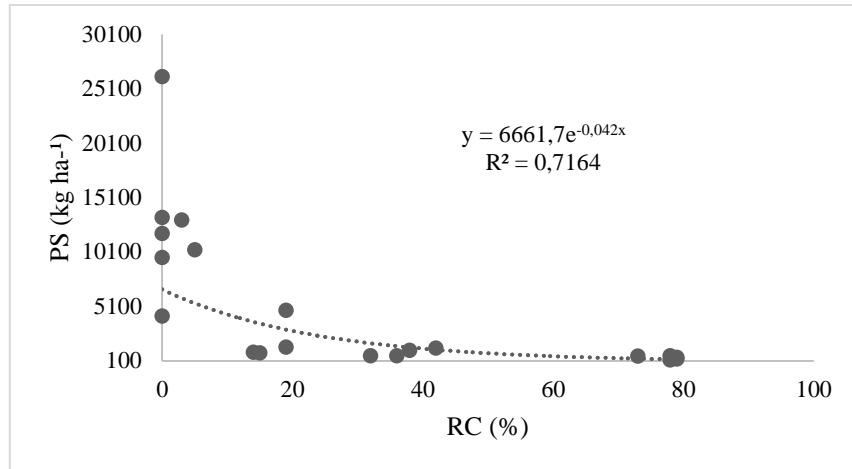


Figura 4. Relação entre perdas de solo (PS - kg ha⁻¹) e cobertura por resíduo cultural (RC - %).

Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

A Figura 4 apresenta a relação entre as médias de perdas de solo com cobertura por resíduos culturais. A variável apresentou correlação inversamente proporcional com a perda de solo, com $R^2=0,7164$, sendo a variável que melhor explicou os valores observados de perda de solo. Isso se deve a ação da cobertura na dissipação da energia cinética da gota da chuva, ou seja, minimizou a desagregação do solo, primeira etapa do processo erosivo. Além disso, criou tortuosidade sobre a superfície do solo diminuindo a ação da enxurrada sobre o solo, o que refletiu em uma acentuada redução de sua capacidade de desagregação e transporte de sedimentos (COGO, 1981 e ENGEL 2005). As correlações reforçam a importância da cobertura por resíduos cultural na resistência do solo a perdas por erosão, uma vez que a cobertura atua em duas frentes, dissipando energia e reduz o transporte pela enxurrada. Conforme Foster (1982), resíduos culturais sobre a superfície do solo são altamente efetivos na redução da carga de sedimentos no escoamento superficial, uma vez que, nessa condição, eles estabelecem uma complexa rede de contenção, filtrando os sedimentos em suspensão na água da enxurrada, quando esta passa por entre as peças dos resíduos.

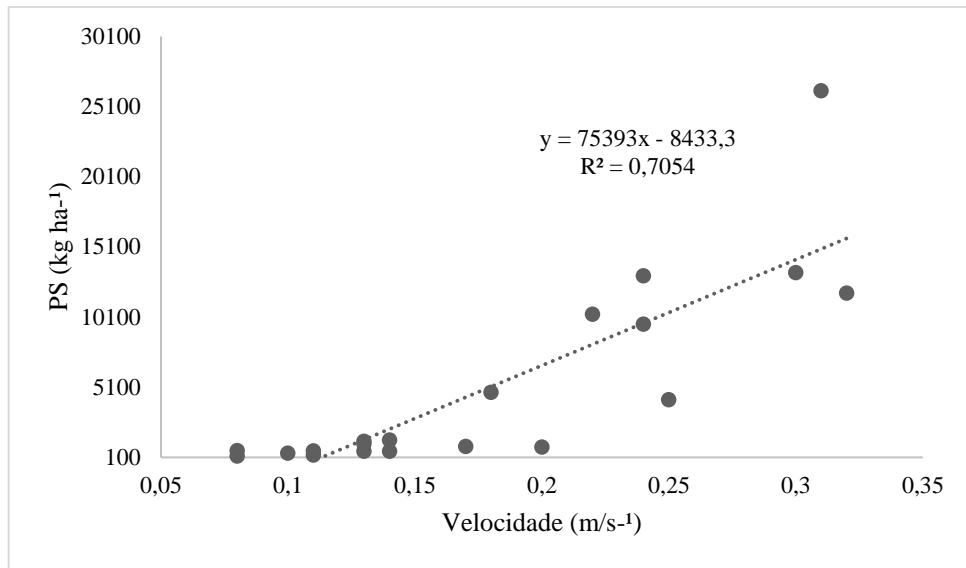


Figura 5. Relação entre a perda do solo (PS) kg ha⁻¹ com a velocidade da enxurrada (m/s¹).
Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

Relacionando-se as perdas de solo com a velocidade da enxurrada verifica-se que houve correlação linear e positiva alta entre as duas variáveis, com $R^2 = 0,7054$ (Figura 6). Isto indica que a medida que a velocidade da enxurrada aumenta, eleva-se a energia de transporte, passando a transportar maior massa de sedimentos, resultando em maior perda total de solo.

6.7 CONCENTRAÇÕES DE FÓSFORO SOLÚVEL NA ÁGUA DE ENXURRADA

A concentração de fósforo (P) solúvel na água da enxurrada, em função dos distintos tratamentos e chuvas simuladas aplicadas, é apresentada na Tabela 19. Em todos os tratamentos e testes de chuva, os valores variaram de 0,03 a 0,53 mg dm³, superiores aos encontrados em outros trabalhos como os de Guadagnim (2003), Leite (2003) e Barboza (2008). A concentração de P na água de enxurrada foi menor no tratamento controle (SSC) do que nos demais, conforme Schick et al. (2000), devido à ausência de fertilização e de cultivo no mesmo. Por outro lado, nos tratamentos com cultivo a concentração do elemento na água foi baixa, especialmente naqueles com preparo convencional (PCM e PCS), concordando com Hernani et al. (1999), Schick (1999) e Schick et al. (2000), Bertol et al. (2004) e Cavichioli (2005). A baixa concentração de P na água de enxurrada, comparada à verificada nos sedimentos, pode ser explicada pelo fato deste elemento encontrar-se fortemente adsorvido aos colóides do solo e ser de baixa solubilidade em água, (GROHMANN & CATANI, 1949).

Nos preparamos conservacionistas de solo (PDM e PDS), a concentração de P na água de enxurrada (Tabela 19) foi cerca de 2 vezes maior do que nos tratamentos de preparo convencional (PCM e PCS), na média dos tratamentos e dos testes de chuva, concordando com Schick et al. (2000) e Bertol et al. (2004). Isto é explicado pela maior concentração deste elemento na camada superficial do solo, em consequência da adição sucessiva de fertilizantes fosfatados na camada superficial, somado ao baixo revolvimento, reduzida taxa de erosão do solo e presença de resíduos vegetais sobre o solo (SANTOS et al, 2008). Além disso, os tratamentos sob plantio direto (PD) geraram sedimentos possivelmente diferentes do preparo convencional (PC). No PD eram de natureza coloidal com maior capacidade de adsorção química de P e no PC eram grosseiros (não coloidal), conforme Bertol et al. (2004) e Schick et al. (2004), estes com menor capacidade de adsorver P do que aqueles.

Tabela 19. Concentração de P solúvel na água da enxurrada, nos diferentes tratamentos e testes de chuva simulada.

TESTES	TRATAMENTOS				
	PDM	PDS	PCM	PCS	SSC
	-----mg dm ⁻³ -----				
1	0,53	0,35	0,25	0,19	0,03
2	0,22	0,24	0,08	0,04	0,02
3	0,13	0,10	0,06	0,08	0,04
4	0,11	0,07	0,05	0,04	0,03
MÉDIA	0,25	0,19	0,11	0,08	0,03
DP	0,20	0,13	0,10	0,07	0,01
CV (%)	79,56	67,53	86,97	84,89	28,81

PDM=Plantio direto com resíduo do milho, PDS= Plantio direto com resíduo da soja, PCM= Plantio convencional com resíduo do milho, PCS= Plantio convencional com resíduo da soja; SSC= Solo sem cobertura).

Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

A concentração de P na água de enxurrada tendeu a diminuir na maioria dos casos estudados, com o decorrer dos testes de chuva simulada, sendo, portanto, maior na primeira época de aplicação das chuvas simuladas, como verificado por Shumam (2002), Cassol et al. (2002), Leite (2003) e Engel (2005). Atribui-se isto, principalmente, a variações de fatores responsáveis pela mineralização deste elemento, em especial daqueles afetados pelo clima, os quais, por sua vez, atuam na atividade biológica e volume de chuvas precipitadas em cada momento do ciclo de cultivo (BERTOL et al., 2004). Essa redução da concentração de P na enxurrada ao longo dos testes, também pode ser justificada pela maior concentração deste nutriente na superfície do solo na primeira época de aplicação das chuvas, prontamente disponível ao transporte (CASSOL et al., 2002). Além disso, a utilização do elemento pelas plantas ao longo do desenvolvimento da cultura da cebola foi aumentando do início ao final

do ciclo, bem como a ocorrência de adsorção química nos coloides do solo, somado a própria perda do elemento decorrente do processo erosivo de chuvas ocorridas ao longo do ciclo (inclusive das chuvas naturais), que atuou transportando o P durante a enxurrada (BARBOSA, 2008). Na maioria dos tratamentos, verificou-se maior concentração de P na água da enxurrada quando o resíduo sobre o solo era de milho.

6.8 CONCENTRAÇÃO DE FÓSFORO EXTRAÍVEL NOS SEDIMENTOS DE EROSÃO

A concentração de P nos sedimentos de erosão (Tabela 20), foi cerca de 201 vezes maior do que na água de enxurrada (Tabela 19), na média dos tratamentos e dos testes de chuva, concordando com os dados de Pote et al. (1996), Gascho et al. (1998) e Hernani et al. (1999), Bertol et al. (2004) e Bertol et al. (2007). Isto pode ser justificado pelo fato deste elemento ser pouco solúvel em água, porém ser fortemente adsorvido pelos coloides do solo (HERNANI et al., 1999; BERTOL et al., 2004, BARBOSA, 2008). Tendo em vista isso, infere-se que o P pode tornar-se um grave contaminante ambiental, por meio da eutrofização das águas, além de encarecer custos de produção no caso de suas perdas serem agronomicamente elevadas (SCHICK et al., 2000).

Tabela 20. Concentração de P extraível nos sedimentos da enxurrada, nos diferentes tratamentos e testes de chuva simulada.

TESTES	TRATAMENTOS				
	PDM	PDS	PCM mg dm ⁻³	PCS	SSC
1	39	37	42	47	27
2	31	43	31	34	22
3	30	21	25	14	14
4	21	20	22	11	8
MÉDIA	30,1	30,3	29,9	26,5	18
DP	8	12	9	17	8
CV(%)	25,29	38,13	29,00	64,04	47,93

PDM=Plantio direto com resíduo do milho, PDS= Plantio direto com resíduo da soja, PCM= Plantio convencional com resíduo do milho, PCS= Plantio convencional com resíduo da soja; SSC= Solo sem cobertura.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

A menor concentração de P ocorreu no tratamento SSC, (Tabela 20), assim como verificado para concentração de P na água. Por outro lado, entre os tratamentos com cultivo, verificou-se que nos preparos conservacionistas (PDS e PDM), a concentração do elemento

nos sedimentos foi 10% maior do que a verificada nos preparamos PCS. Isto ocorreu divido à sua maior concentração na superfície do solo, justificada pelas mesmas razões anteriormente expostas para explicar a concentração deste elemento na água da enxurrada.

Na maior parte dos tratamentos, a concentração de P nos sedimentos foi maior na primeira época de aplicação das chuvas simuladas, diminuindo nas demais, assim como verificado por Shumam (2002), Cassol et al. (2002), Leite (2003) e Engel (2005). Tal fato, pode ser justificado pela maior concentração deste nutriente na superfície do solo na primeira época de aplicação das chuvas simuladas (CASSOL et al., 2002). Ainda, pela utilização do elemento pelas plantas ao longo do desenvolvimento da cebola, pela ocorrência de adsorção química nos coloides do solo e pela própria perda do elemento decorrente do processo erosivo ao longo do ciclo da cultura (natural e ou simulada) conforme verificado também por Barbosa (2008).

Embora, no geral, a concentração de P nos sedimentos de erosão tenha sido maior nos tratamentos com resíduo de milho, houve pequena diferença numérica nos valores em relação aos tratamentos com resíduo de soja, demonstrando menor influência do tipo resíduo do que do tipo de preparo de solo sobre a concentração deste elemento nos sedimentos de erosão.

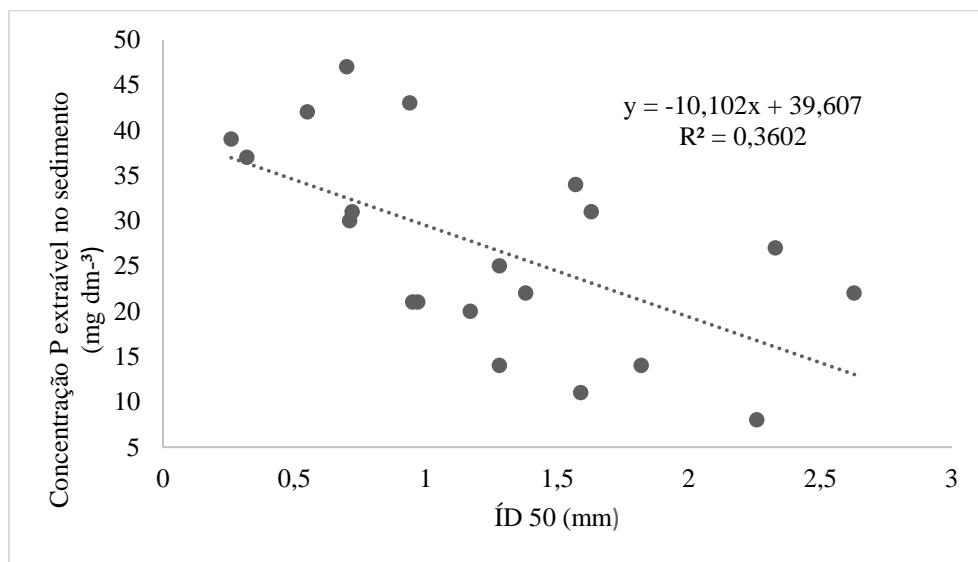


Figura 6. Relação entre o P extraível nos sedimentos de erosão, com o índice (ID₅₀).
Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

Relacionando-se os teores de P nos sedimentos da enxurrada com o índice D₅₀ dos sedimentos de erosão (ID₅₀), verifica-se que houve correlação linear e negativa entre as duas variáveis, com $R^2 = 0,3602$ (Figura 7). Apesar da baixa correlação, os dados permitem confirmar que a concentração de P nos sedimentos aumentou com a diminuição do diâmetro dos sedimentos transportados pela enxurrada. Isto foi verificado também por Bertol et al

(2008), com o argumento de que sedimentos de menor diâmetro apresentam maior atividade química que os de maior diâmetro. Dessa forma, manejos de solo mais eficazes na redução de erosão hídrica, em termo de quantidade de solo perdido, qualitativamente podem não serem satisfatórios. Pois ao reduzirem a perda total de solo por erosão, essa redução ocorre nos sedimentos de maior diâmetro; em contraponto, aumenta na enxurrada a massa de sedimentos de menor diâmetro (BERTOL et al., 2010).

6.9 PERDA TOTAL DE FÓSFORO NA ÁGUA DE ENXURRADA

A perda total de P na água de enxurrada foi baixa (Tabela 21), sendo mais influenciada pela concentração do elemento na água (Tabela 19) do que pelo volume total de água perdida por erosão, concordando com Schick et al. (2000) e Bertol et al. (2004). As perdas deste elemento variaram de 10 g ha⁻¹ no tratamento SSC a 76 g ha⁻¹ no tratamento PDM, no total dos quatro testes de chuva simulada. Isto pode ser esclarecido pelas mesmas razões utilizadas na discussão da concentração desse elemento na água da enxurrada. Assim sendo, a perda de P na água perdida pela erosão nos sistemas de preparo de solo conservacionistas (PDM e PDS) foram 2,3 vezes maiores do que os convencionais (PCM e PCS), na média dos tratamentos e dos testes. Nesse caso, essas perdas estiveram associadas a maior concentração do elemento na água de enxurrada no PDM e PDS do que nos outros tratamentos, visto que a perda de água foi inferior nos sistemas conservacionistas, concordando com Schick et al. (2000) e Bertol et al. (2004). Assim como na concentração, a maior massa de P perdido por erosão foi observada na primeira época de aplicação das chuvas simuladas, reduzindo a medida da realização dos quatro testes, concordando com Cassol et al. (2002).

Conforme SHARPLEY et al. (1994), apesar das perdas de P por escoamento superficial normalmente serem menores que 5% do P aplicado no solo na forma de adubo, o teor do elemento comumente supera os valores críticos relacionados com a eutrofização acelerada de águas, o que pode representar um problema de ordem ambiental.

Tabela 21. Perda de P na água da enxurrada, nos diferentes tratamentos por chuva simulada.

TESTES	PDM	TRATAMENTOS			
		PDS	PCM	PCS	SSC
-----g ha ⁻¹ -----					
1	161	92	60	53	9
2	85	94	28	14	8
3	44	34	19	25	17
4	15	10	18	13	8
MÉDIA	76	57	31	26	10
DP	63	42	20	19	4
TOTAL	305	230	125	105	42

PDM=Plantio direto com resíduo do milho, PDS= Plantio direto com resíduo da soja, PCM= Plantio convencional com resíduo do milho, PCS= Plantio convencional com resíduo da soja; SSC=Solo sem cobertura.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

6.10 PERDA TOTAL DE FÓSFORO NOS SEDIMENTOS DE EROSÃO

Apesar da concentração de P ter sido relativamente alta nos sedimentos nos tratamentos de base conservacionista (PDM e PDS), a perda total deste elemento foi em geral baixa (Tabela 22), pelo fato da perda total de solo ter sido pequena (Tabela 18), concordando com dados obtidos por Schick et al., (2000), Bertol et al. (2004) e Barbosa (2008). Tendo em vista isso, no geral, as perdas de P nos sedimentos da erosão foram mais influenciadas pelas perdas de solo, do que pela concentração do elemento nos sedimentos. Isto pode ser visto nos tratamentos sob preparo convencional que apresentaram alta perda deste elemento, explicada justamente pela elevada perda de solo verificada neste tratamento, uma vez que a concentração do elemento foi baixa.

Tabela 22. Perda total de P nos sedimentos da erosão hídrica nos diferentes tratamentos por chuva simulada.

TESTES	TRATAMENTOS				
	PDM	PDS	PCM	PCS	SSC
	-----g ha ⁻¹ -----				
1	9	19	22	40	112
2	12	53	145	354	290
3	16	22	34	185	357
4	4	11	18	104	93
MÉDIA	10	26	55	171	213
DP	5	19	61	136	131
TOTAL	41	106	219	682	852

PDM= Plantio direto com resíduo do milho, PDS= Plantio direto com resíduo da soja, PCM= Plantio convencional com resíduo do milho, PCS= Plantio convencional com resíduo da soja; SSC= Solo sem cobertura.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

A perda total de P nos sedimentos foi 6,3 vezes maior nos tratamentos que envolveram preparo do solo (PCM e PCS) do que as verificadas nos tratamentos de plantio direto, sem preparo (PDM e PDS) (Tabela 22), sendo especialmente altas no PCS (com resíduo de soja), cujos dados concordam com Schick et al. (2000), Bertol et al. (2004). Isto pode ser justificado pela maior perda de solo ocorrida no preparo convencional (Tabela 3). O tratamento com plantio direto sobre resíduo de milho (PDM), por outro lado, apresentou eficácia na redução da perda de P de 95% e 94%, respectivamente, em relação a testemunha e ao PCS.

Do mesmo modo como verificado para a concentração de P, a perda total deste elemento nos sedimentos decai entre um teste de chuva e outro. Desta maneira, na medida em que as perdas de água e solo aumentavam (Tabelas 17 e 18), a concentração de P diminuía, corroborando com a hipótese de que os sedimentos perdidos por erosão são mais concentrados em P em sistemas de manejo de base conservacionista a exemplo do plantio direto, por apresentarem menores perdas de água, do que os convencionais (BERTOL et al., 2004).

6.11 CONCENTRAÇÃO DE FÓSFORO NA CAMADA DE 0-2,5 CM DO SOLO

Na posição superior da parcela (Tabela 23) foi verificada a maior concentração de P na camada 0-2,5 cm, nos tratamentos de base conservacionistas (PDM e PDS), com valores de 30,52 e 26,31 mg dm⁻³, respectivamente. Essa concentração foi em média 35% maior do que

a média dos tratamentos sob preparo convencional (PCM, PCS e SSC), de acordo com o que foi verificado também por Schwarz (1997), Schick (1999) e Schick (2000). Os resultados são justificados primeiramente em razão de que áreas com histórico de plantio direto sem revolvimento do solo tendem a concentrar P na camada mais superficial (Schick et al., 2000, Bertol et al., 2004). Outros fatores que ajudam a descrever os resultados, da maior concentração de P, nos tratamentos de base conservacionistas em especial o tratamento PDM, deve-se as menores perdas de solos erosão, reduzindo assim as perdas de sedimentos ricos em nutrientes. Além da própria decomposição dos resíduos vegetais dispostos nesses tratamentos, que ao serem mineralizados pela ação da microbiota do solo, permite a liberação continua de nutrientes para o solo. (SHICK, 2000).

Tabela 23. Concentração de P extraível na camada de 0-2,5 cm de profundidade do solo por tratamento na posição superior da parcela, nos diferentes tratamentos por teste de chuva simulada.

TESTE	TRATAMENTOS				
	PDM	PDS	PCM	PCS	SSC
-----mg dm ⁻³ -----					
1	32,02	30,91	28,45	32,00	14,22
2	31,47	29,2	25,41	28,37	11,89
3	29,51	24,94	19,15	17,89	11,84
4	29,06	20,18	11,88	11,82	11,79
MÉDIA	30,52	26,31	21,22	22,52	12,43
DP	1,45	4,79	7,34	9,31	1,19
CV(%)	4,74	18,23	34,57	41,35	9,58

PDM=Plantio direto com resíduo do milho, PDS= Plantio direto com resíduo da soja, PCM= Plantio convencional com resíduo do milho, PCS= Plantio convencional com resíduo da soja; SSC=Solo sem cobertura. Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

Ainda na parte superior da parcela (Tabela 23), verifica-se que as concentrações de P reduziram gradualmente ao longo dos testes de chuva simulada, uma vez que o elemento foi sendo progressivamente perdido por escoamento superficial, bem como pela movimentação do nutriente ao longo da pendente, transferindo-se, assim, da parte superior para a parte inferior da parcela. Soma-se a isso a própria absorção do elemento pelas plantas e reações de adsorção química com coloides do solo (SPOSITO, 1989), que tornaram o elemento cada vez menos disponível na forma solúvel e menos suscetível a perda. Em relação ao tratamento controle SSC, a concentração de P foi 2,5 vezes menor quando comparada aos tratamentos sob plantio direto, devido à ausência de fertilizantes e de cultivo no SSC. Também, atenta-se

sobre os resultados desse tratamento que as concentrações de P mantiveram-se semelhante ao longo dos quatro testes para posição superior da parcela.

Assim como observado na posição superior da parcela, o fósforo na posição inferior (Tabela 25) apresentou concentração uma vez maior nos tratamentos sobre plantio direto (PDM e PDS) do que naqueles sob preparo convencional (PCM e PCS), provavelmente devido ao resultado de interação entre a elevada concentração no solo nos sistemas conservacionistas e a transferência de sedimentos ricos no nutriente da posição superior para a inferior.

Tabela 24. Concentração de P extraível na camada de 0-2,5 cm de profundidade do solo, na posição inferior da parcela, nos diferentes tratamentos, por teste de chuva simulada.

TESTE	TRATAMENTOS				
	PDM	PDS	PCM	PCS	SSC
	-mg dm ⁻³ -				
1	47,43	45,06	43,53	41,28	29,04
2	46,10	40,88	35,32	36,41	20,37
3	40,92	29,59	26,36	20,73	18,31
4	40,17	29,34	25,36	16,54	18,31
MÉDIA	43,65	36,22	32,64	28,74	21,51
DP	3,65	7,98	8,53	11,96	5,12
CV(%)	8,35	22,04	26,12	41,61	23,79

PDM=Plantio direto com resíduo do milho, PDS= Plantio direto com resíduo da soja, PCM= Plantio convencional com resíduo do milho, PCS= Plantio convencional com resíduo da soja; SSC=Solo sem cobertura.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

Os resultados de concentração de P da camada de 0-2,5 cm do solo nas posições superior e inferior das parcelas, comprovam que houve transferência do elemento entre um ponto e outro de coleta, em todos tratamentos, para cada teste realizado. Isso é creditado ao transporte de sedimentos desagregados pelo processo erosivo, conforme constatado também por Gebler et al. (2014). Todavia, a transferência de P da posição superior da parcela para porção a inferior, foi em geral baixa. Isto é justificado, especialmente, pelos baixos valores de perda de solo, com ressalva aos tratamentos sob preparo convencional (PCM, PCS e SSC) onde essas as perdas foram altas. No entanto, a concentração de P foi baixa especialmente no SSC, como observado por Shick et al. (2000) e Bertol et al. (2004).

Verificou-se também que houve maior concentração de P na porção inferior da parcela nos tratamentos onde o milho era a cultura antecessora em comparação aos tratamentos onde era a soja. Isto decorreu do fato de ter ocorrido menor perda de solo nos tratamentos com milho, com maior concentração do elemento dentro da área de controle, do que com soja.

Com isso, pode-se inferir que o tipo de resíduo na superfície do solo apresentou influência na movimentação de P sobre a superfície do solo, no entanto, esse fenômeno foi mais dependente do tipo de manejo do solo do que propriamente da espécie de resíduo cultural remanescente sobre o mesmo.

Relacionando a concentração de P nos sedimentos da enxurrada com a média da camada de 0-2,5 cm do solo entre as posição superior e inferior da parcela, apura-se que houve correlação linear e positiva entre as duas variáveis, com $R^2 = 0,6987$ (Figura 6) concordando com Leite (2003) e Barbosa (2008). Esta relação demonstra que concentrações maiores de P na camada de 0-2,5 cm do solo tenderam ao aumento de concentrações do elemento nos sedimentos de erosão, visto que o P é um elemento com fraca movimentação ao longo do perfil do solo, especialmente em solos argilosos, ácidos e com altos teores de ferro e alumínio, de acordo com Muzilli (1981), cuja camada é preferentemente removida pela erosão (BARBOSA, 2008).

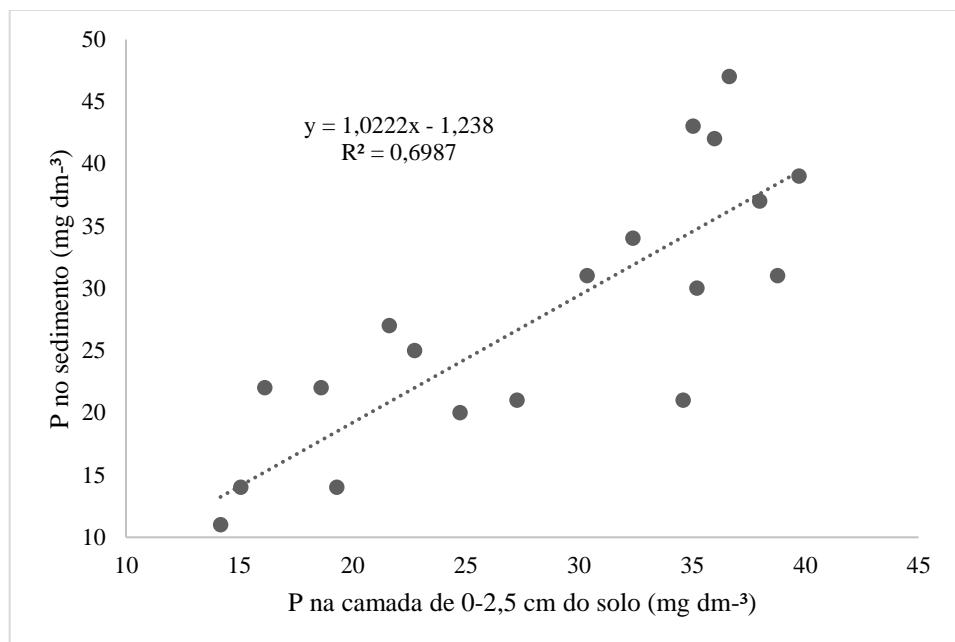


Figura 7. Relação entre o P no sedimento (mg dm⁻³) com P na camada de 0-2,5 cm do solo (mg dm⁻³).

Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

Confrontando os valores de concentração de P na camada de 0-2,5 cm do solo com P os na água da enxurrada por meio de regressão, observa-se que houve correlação linear e positiva entre as duas variáveis, com $R^2 = 0,5623$ (Figura 7). Isso demonstra que concentrações mais elevadas de P na camada superficial do solo influenciam na concentração do elemento nos na água de enxurrada.

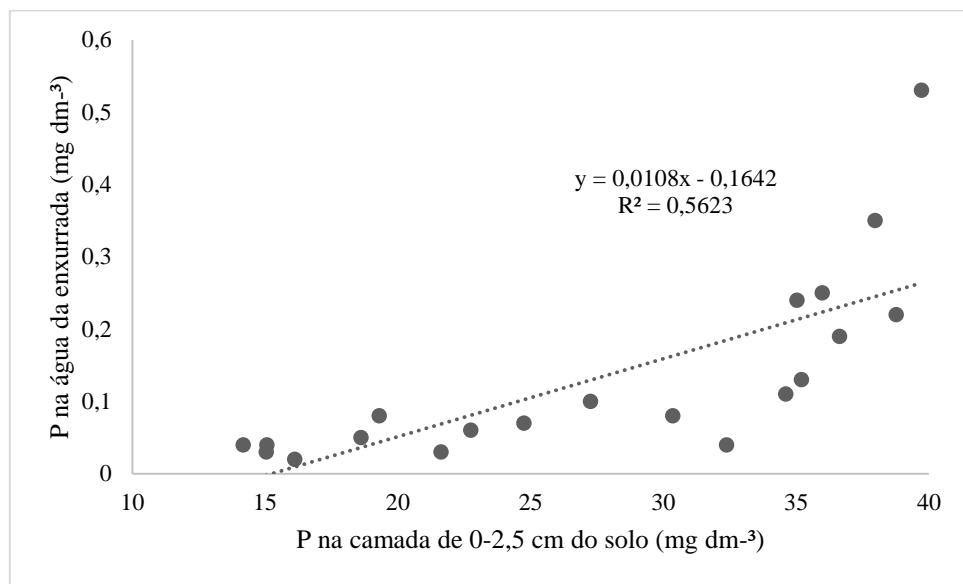


Figura 8. Relação entre o P na água da enxurrada (mg dm⁻³) com o P na camada de 0-2,5cm do solo (mg dm⁻³).

Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

6.12 TAXA DE ENRIQUECIMENTO DO SEDIMENTO PERDIDO POR EROSÃO HDRÍCA

A taxa de enriquecimento do solo para fósforo apresentou valores inferiores a 1,0 nos tratamentos PDM e PDS (0,8 e 0,9 respectivamente), o que indica que as concentrações desse elemento foram menores nos sedimentos perdidos por erosão do que no solo na camada de 0-2,5 cm. Esses valores significam que, apesar das concentrações de P nos sedimentos serem altas nesses tratamentos, a concentração do elemento na superfície do solo de origem foi superior à dos sedimentos. Isto ocorreu pela permanência dos resíduos culturais na superfície do solo que não foram mobilizadas, e devido ao histórico de adubação superficial que, no conjunto, garantiu esses resultados, descrevendo um cenário de relativo equilíbrio entre essas duas variáveis. No entanto, verifica-se que no primeiro teste e no teste dois para o PDS, os tratamentos conservacionistas apresentaram maiores valores de P contido nos sedimentos erodidos do que os encontrados no solo original, decorrentes de maior concentração desse nutriente nos sedimentos no primeiro teste de chuva (Tabela 25).

Tabela 25. Taxa de enriquecimento em P ocasionada pelos sedimentos erodidos em relação à concentração do elemento contido na camada de 0-2,5cm do solo, por teste de chuva simulada.

TESTES	TRATAMENTO				
	PDM	PDS	PCM	PCS	SSC
1	1,0	1,0	1,2	1,3	1,2
2	0,8	1,2	1,0	1,1	1,4
3	0,8	0,8	1,1	0,7	0,9
4	0,6	0,8	1,2	0,8	0,5
MÉDIA	0,8	0,9	1,1	1,0	1,0
DP	0,16	0,19	0,10	0,28	0,39
CV(%)	20,41	21,28	8,70	27,54	39,16

PDM=Plantio direto com resíduo do milho, PDS= Plantio direto com resíduo da soja, PCM= Plantio convencional com resíduo do milho, PCS= Plantio convencional com resíduo da soja; SSC=Solo sem cobertura. Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

A maior taxa de enriquecimento de P foi verificada no tratamento PCM, com valor de médio de 1,1, ou seja, valor cerca de 10% maior nos sedimentos do que na massa original da camada de 0-2,5 cm do solo. Do ponto de vista ambiental, isto representa alto risco de eutrofização em recursos hídricos, além dos efeitos diretos sobre o custo da produção que forçam os produtores a aplicação de doses complementares de fertilizantes a fim de garantir a fertilidade do solo (Tôsto et al, 2006).

No caso dos tratamentos PCS e SSC, ambos com valor igual a 1, o P nos sedimentos oriundo da erosão foi respectivamente 3,4 e 3% maior do que na camada superficial de 0-2,5 cm, uma diferença expressivamente menor do que a do tratamento PCM que indicou menor risco de contaminação ambiental por P. Todavia, cabe reforçar que apesar de menor taxa de enriquecimento nesses tratamentos, a perda total de solo foi a mais elevada entre todos os tratamentos estudados, o que também representa um grave problema ambiental aos recursos hídricos, com efeitos sobre a qualidade das águas naturais (TÔSTO et al, 2006). Verifica-se também que a partir do teste 3, a taxa nos tratamentos PCS e SSC apresentou valores inferiores a 1, o que infere que o P nos sedimentos erodidos foi inferior ao encontrado na camada do solo de origem. Isto possivelmente deve-se as crescentes perdas de solo à medida que foram sendo realizados as chuvas simuladas, e à diminuição da resistência do solo a desagregação, fazendo com que a fração granulométrica desagregada e carreada para fora da área controle fosse principalmente de agregados grandes e frágeis e pobres no nutriente.

Como há maior quantidade de P nos sedimentos tendeu a se depositar ao longo do declive, seu efeito maléfico sobre o ambiente é de certo modo mitigado (McIsaac et al., 1995

apud GEBLER et al, 2012). Todavia, a deposição de sedimentos coloidais transportados superficialmente pela enxurrada, ricos em P, bem como transportados pela própria água da enxurrada, pode levar a um quadro de contaminação dos recursos hídricos (Pôte et al., 1996; Guadagnin et al., 2005).

7. CONCLUSÕES

1. As perdas de solo por erosão hídrica no cultivo da cebola foram fortemente influenciadas pelo manejo do solo, sendo que o plantio direto sobre o resíduo do milho foi mais eficiente no controle da erosão do que os demais tratamentos. Já o preparo convencional do solo sobre o resíduo da soja foi o menos eficaz, com as maiores perdas de solo.
2. As perdas de água pela enxurrada apresentaram tendência semelhante à da perda de solo na comparação dos tratamentos, no entanto com menor magnitude de diferença do que essas.
3. As perdas de fósforo por erosão hídrica diminuem com o aumento de número chuva simulada aplicada durante o ciclo da cebola, com maiores valores no plantio direto do que no preparo convencional, independentemente do tipo de resíduo da cultura antecessora.
4. As taxas de empobrecimento do solo para P apresentaram valores inferiores a 1,0 nos tratamentos de base conservacionistas (PDM e PDS) enquanto para os tratamentos PCM, PCS e SSC tais taxas foram superiores a unidade.
5. A concentração de P foi maior nos tratamentos com plantio direto do que nos preparos convencionais, tanto nos sedimentos como na água da enxurrada, sendo consideravelmente mais elevada nos sedimentos do que na água de enxurrada.
6. No caso da água de enxurrada, a maior perda total de P ocorreu para os tratamentos com preparos conservacionistas (PDM e PDS), sendo a menor perda verificada no tratamento controle (SSC). Por outro lado, no caso dos sedimentos de erosão, a maior perda total de P entre tratamentos com cultivo ocorreu nos preparos convencionais (PCM e PCS).

8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A totalidade dos resultados alcançados com este trabalho possibilitou verificar numericamente, o efeito do plantio direto e convencional bem como o tipo de resíduo, sobre a perda de solo, água e fósforo no cultivo da cebola em um Cambissolo. Com isso, pôde-se determinar o quanto um sistema é mais eficiente e sustentável para o agroecossistema da cultura.

Para se atingir uma maior compreensão do efeito erosão hídrica no cultivo de cebola, definiram-se dois objetivos específicos. O primeiro, quantificar as perdas de solo e água por erosão hídrica e de fósforo solúvel na água de enxurrada e particulado nos sedimentos, durante o ciclo da cebola cultivada na forma de plantio direto e preparo convencional do solo, ambas sucedendo os cultivos de soja e milho. E o segundo objetivo foi correlacionar às condições de superfície e parâmetros relacionados à enxurrada com as perdas de solo e fósforo. No panorama geral, ambos objetivos foram atingidos, produzindo informações sobre os sistemas de cultivo da cebola, no âmbito do uso e conservação do solo.

Os resultados evidenciam que a adoção do plantio direto na palha em especial no resíduo do milho, apresentou maior eficiência, no controle das perdas de solo, água e fósforo, sendo o produto da qualidade física do solo não mobilizado no sistema, e elevada permanência do resíduo sobre a superfície do solo nesse tratamento, o que evidencia a complexa interação de fatores que atuam na erosão hídrica, relacionados ao solo em superfície e em sub-superfície, os quais por fim são a chave e a resposta de uma efetiva conservação do solo.

Ao encerrar o ciclo de pesquisa, no qual eventos meteorológicos influenciaram no stand final de plantas por tratamento, vindo a repercutir possivelmente nos resultados da pesquisa, onde quantificações não foram determinadas com tanta clareza, como planejado. Assim é possível considerar, novas projeções da pesquisa, com uso dos mesmos tratamentos, para trazer maior luz aos resultados do estudo já realizado. Ainda é necessário melhor analisar as interações entre o uso do plantio direto e preparo convencional associado a diferentes tipos de resíduo. Assim a relevância dos resultados obtidos, seja para a área de estudo ou para a sociedade como um todo, traz uma relação custo-benefício virtuoso uma vez que gera indicadores sobre o efeito dos diferentes manejos utilizados aplicados no cultivo da cebola, do ponto de vista ambiental e econômico, uma vez que perdas de solo e nutriente geram um custo a curto e longo prazo para todos nós.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBUQUERQUE, J.A.; et al. Efeitos da integração lavoura-pecuária nas propriedades físicas do solo e características da cultura do milho. **R. Bras. Ci. Solo**, 25:717-723, 2001.

AMARAL, A. J. et al. Redução da erosão hídrica em três sistemas de manejo do solo em um Cambissolo Húmico da Região do Planalto Sul-Catarinense. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 32, p. 2145-2155, 2008.

ANDRADE, A. P; et al. Physical properties of a humic cambisol under tillage and cropping systems after 12 year. **R. Bras. Ci. Solo**, 34: 219-226, 2010.

ARAÚJO, J. L. P, et al. Análise dos custos de produção e rentabilidade da cultura da cebola na região do Submédio São Francisco. XV SIMPEP. **Simpósio de engenharia de produção**. São Paulo, 2008.

BAGATINI, T et al. Perdas de solo e água por erosão hídrica após mudança no tipo de uso da terra, em dois métodos de preparo do solo e dois tipos de adubação. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 35, p. 999-1011, 2011.

BARBOSA, F. T. **Comprimento crítico de declive relacionado à erosão hídrica, em diferentes tipos e doses de resíduo em duas direções de semeadura direta.** (Tese de Doutorado) - Centro de Ciências Agroveterinárias, Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 99 p. 2011.

BARBOSA, F. T. **Erosão hídrica em três formas de semeadura de aveia e ervilhaca em um Cambissolo Húmico: perdas de nutrientes e carbono orgânico.** (Dissertação de mestrado). Lages, UDESC, 2008. 75 p.

BERTOL et al .Perdas de fósforo e potássio por erosão hídrica em um inceptisol sob chuva natural. **Rev. Bras. Ciênc. Solo** vol.28 no.3 Viçosa May/June 2004

BERTOL et al. Sedimentos transportados pela enxurrada em eventos de erosão hídrica em um NITOSSOLO HÁPLICO (1) **R. Bras. Ci. Solo**, 34:245-252, 2010

BERTOL, I. et al. Aspectos financeiros relacionados às perdas de nutrientes por erosão hídrica em diferentes sistemas de manejo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.31, n.1, p.133-142, 2007.

BERTOL, I. et al. Aspectos financeiros relacionados às perdas de nutrientes por erosão hídrica em diferentes sistemas de manejo do solo. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, Viçosa, v. 31, n. 1, p. 133-142, fev. 2007 .

BERTOL, I. et al. Efeito de uma escarificação e da erosividade de chuvas sobre algumas variáveis de valores de erosão hídrica em sistemas de manejo de um Nitossolo Háplico. **R. Bras. Ci. Solo**, 32:747-757, 2008.

BERTOL, I. et al. Erosão hídrica em diferentes preparos do solo logo após as colheitas de milho e trigo, na presença e na ausência dos resíduos culturais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 21, n.3, p. 409-418, 1997.

BERTOL, I. et al. Perdas de fósforo e potássio por erosão hídrica em um Inceptisol sob chuva natural. **R. Bras. Ci. Solo**, 28:485-494, 2004.

BERTOL, I. et al. Simulador de chuva tipo empuxo com braços movidos hidraulicamente: fabricação e calibração. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 36, n. 6, p. 1905-1910, 2012.

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: 3. 657-668, 2000.

BERTOL, I. et al.. Perdas de fósforo e potássio por erosão hídrica em um inceptisol sob chuva natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, n.3, p.485-494, 2004a.

BERTOL, I. et al.. Efeito de uma escarificação e da erosividade de chuvas sobre algumas variáveis de valores de erosão hídrica em sistemas de manejo de um Nitossolo Háplico. **R. Bras. Ci. Solo**, 32:747-757, 2008.

BERTOL, O. et al. Perdas de solo e água e qualidade do escoamento superficial associadas à erosão entre sulcos em área cultivada sob semeadura direta e submetida às adubações mineral e orgânica. **R. Bras. Ci. Solo**, Viçosa, v. 31, p. 781- 792, 2007b.

BERTOL. I. et al. Propriedades físicas do solo sob preparo convencional e semeadura direta em rotação e sucessão de culturas, comparadas às do campo nativo. **R. Bras. Ci. Solo**, 28:155-163, 2004.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. 8^a ed. São Paulo: Ícone, 2012, 335 p.

BEUTLER, J. F. et al. 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.

BEZERRA, JOSÉ FERNANDO RODRIGUES. **Geomorfologia e reabilitação de áreas degradadas por erosão com técnicas de bioengenharia de solos na Bacia Do Rio Bacanga, São Luís – MA**. Tese de doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal do Rio de Janeiro. 2011

BRANDÃO, E.D. & SILVA, I.F. Formação e estabilização de agregados pelo sistema radicular de braquiária em um Nitossolo Vermelho. **Ci. Rural**, 42:1193-1199, 2012.

BUCKMAN, H. O.; BRADY, N. C. Natureza e propriedades dos solos. BURWELL, R.E.; ALLMARAS, R.R. & AMEMIYA, M.A. Field measurement of total porosity and surface microrelief of soils. **Soil Sci. Soc. Proc.**, 27:697-700, 1963.

CAIXETA, R. P. Perdas de água, solo, nutriente e matéria orgânica em áreas cultivadas com cebola sob diferentes sistemas de manejo do solo. Brasília; Embrapa Hortaliça, 2009.

CAMARGO, E. S. **Manejo conservacionista do solo e rotação de culturas para cebola**. Dissertação (mestrado) – Centro de Ciências Agroveterinárias / UDESC. Lages, 2011. 80 p

CARPENEDO, V.; MIELNICZUK, J. Estado de agregados e qualidade de agregados de Latossolos Roxos, submetidos a diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Piracicaba, v.14, n.1 p.99-105, 1990.

CARVALHO D.F. et al. Perdas de solo e água em um Argissolo Vermelho Amarelo, submetido a diferentes intensidades de chuva simulada. **R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, Campina Grande, v.6, n.3, p.385-389, 2002.

CASSOL, E. A. et al. Perdas de nutrientes por erosão em diferentes métodos de melhoramento de pastagem nativa no Rio Grande do Sul. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, Viçosa, v. 26, n. 3, p. 705-712, set. 2002.

CASSOL, E. A.; LIMA, V. S. Erosão em entressulcos sob diferentes tipos de preparo e manejo do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.38, n.1, p.117-124, jan.2003.

CASTRO, L.G et al. Alterações na rugosidade superficial do solo pelo preparo e pela chuva e sua relação com a erosão hídrica. **R. Bras. Ci. Solo**, 30:339-352, 2006.

CAVICHOLO, Sandra Regina. **Perdas de solo e nutrientes por erosão hídrica em diferentes métodos de preparo do solo em plantios de *Pinus taeda***. (Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, da Universidade Federal do Paraná) Curitiba - PR. 2005. 139 p.

COGO N. P.,et al. Perdas de solo e água por erosão hídrica influenciadas por métodos de preparo, classes de declive e níveis de fertilidade do solo(1) .**R. Bras. Ci. Solo**, 27:743-753, 2003.

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

COGO, N.P. **Effect of residue cover, tillage-induced roughness and slope length on erosion and related parameters**. (Tese de Doutorado). West Lafayette, Purdue University, 346p. 1981.

COGO, N.P.; MOLDENHAUER, W.C. & FOSTER, G.R. Effect of crop residue, tillage-induced roughness, and runoff velocity on size distribution of eroded soil aggregates. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, 47:1005-1008, 1983.

CORREA, Ivana Manenti Capistrano et al. Rugosidade da Superfície de um Cambissolo Hídrico Relacionada com o Preparo e Compactação do Solo Sob Chuva Natural(1). **R. Bras. Ci. Solo**, 36:567-576, 2012

CORTEZ, JORGE W et al. Umidade e temperatura de argissolo amarelo em sistemas de preparo e estádios de desenvolvimento do milho. **Eng. Agríc.**, Jaboticabal, v.35, n.4, p.699-710, jul./ago. 2015

COSTA, N. D., LEITE, W. M. Potencial agrícola do solo para o cultivo da cebola. Embrapa Semiárido Juazeiro, setembro 2005.

COSTA, N. D.; RESENDE, G. M. de; DIAS, R. de C. S. Avaliação de cultivares de cebola em Petrolina-PE. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 18, n. 1, p. 57, 2000.

COSTA, N.D & RESENDE G.M. **Cultivo da Cebola no Nordeste**. Embrapa Semi-Árido Sistemas de Produção, 3 ISSN 1807-0027 Versão Eletrônica Nov./2007

DECHEN, S. C. F.; TELLES, T. S.; GUIMARAES, M. F.; MARIA, I. C. Perdas e custos associados à erosão hídrica em função de taxas de cobertura do solo. **Bragantia**, São Paulo, v. 74, n. 2, p. 224-233, 2015.

DULEY, F. L. Surface factor affecting the rate of intake of water by soils. **Soil Science Society of America**. Proceedings, v.4, p.60-64, 1939.

ELLISON, W. D. Soil erosion studies. **Agricultural Engineering**, St. Joseph, v. 28, 1947.

ELTZ, F.L.F.; PEIXOTO, R.T.G. & JASTER, F. Efeitos de sistemas de preparamos do solo nas propriedades físicas e químicas de um Latossolo Bruno álico. **R. Bras. Solo**, 13:259-267, 1989

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

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Sistema Brasileiro de **Classificação de Solos**. 3.ed. Brasília: Embrapa Solos, 2013. 353p.

ENGEL, F. L. **Erosão hídrica em diferentes estágios de crescimento da cultura da soja, em diferentes métodos de preparo do solo**. (Dissertação de mestrado). Lages, UDESC, 2005. 88 p.

EPAGRI. **Sistema de produção para a cebola: Santa Catarina** (4. Revisão). Florianópolis: 2013. 106p. (Epagri. Sistemas de Produção, 46). Cebola; Prática cultural. ISSN 1414-6118

ERNANI, P.R. **Ânions no solo: Química do solo e disponibilidade de nutrientes**. p.105-126. 2008.

FANCELLI, A.L. Manejo do Solo em Plantio Direto. In: Grupo Plantio Direto. Guia para plantio direto. Ponta Grossa: **Centralgraph**, 2000. p.16-29.

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

FAVARETTO, N.; NORTON, L.D.; JOERN, B.C.; BROUDER, S. M. Gypsum amendment and exchangeable calcium and magnesium affecting phosphorus and nitrogen in runoff. **Soil Science Society of America Journal**, n.70, p.1788–1796, 2006.

FOSTER, G. R. Modeling the erosion process. In: HAAN, C. T. (Ed.). **Hydrologic modeling of small watersheds**. St. Joseph: American Society of Agricultural Engineers, 1982. p. 297-380. (ASAE Monograph, 5).

GASCHO, G.J. et al. Nitrate nitrogen, soluble, and bioavailable phosphorus runoff from simulated rainfall after fertilizer application. **Soil Sci, Soc. Am. J.**, 62:1711-1718, 1998.

GEBLER, L. et al, Transferência superficial de fósforo reativo potencialmente contaminante por chuvas simuladas intensas **Eng Sanit Ambient** | v.19 n.4 | out/dez 2014 | 393-399.

GILLES, L. et al. Perdas de água, solo, matéria orgânica e nutriente por erosão hídrica na cultura do milho implanta em área de campo nativo, influenciadas por métodos de preparo do solo e tipo de adubação. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 33, p. 1427-1440, 2009.

GROHMANN, F.; CATANI, R. A. O empobrecimento do solo causado pela erosão e pela cultura algodoeira no solo do Arenito Bauru. **Bragantia**, Campinas, v. 9, p. 125-132, 1949

GUADAGNIN et al. Perdas de solo, água e nitrogênio por erosão hídrica em diferentes sistemas de manejo. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 29, p. 277-286, 2005.

GUADAGNIN, J.C. **Perdas de nutrientes e carbono orgânico pela erosão hídrica, em um Cambissolo Húmico Alumínico léptico submetido a diferentes sistemas de preparo e cultivo do solo.** (Tese de Mestrado). Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 150p. 2003.

GUERRA, A. J.T. **Processos Erosivos nas encostas.** In: GUERRA, A.J.T.; CUNHA, S.B. da. (Org.). Geomorfologia: Uma atualização de bases e conceitos. 8^a ed. Rio de Janeiro. Bertrand Brasil, p. 149-209, 2008.

HERNANI, L.C.; KURIHARA, C.H. & SILVA, W.M. Sistemas de manejo do solo e perdas de nutrientes e matéria orgânica por erosão. **R. Bras. Ci. Solo**, 23:145-154, 1999.

HILL, R.L. Long-term conventional and no-tillage effects on selected soil physical properties. **Soil Science Society of America Journal**, v.54,p.161-166, 1990.

HUDSON, N.W. *Soil conservation*. 3.ed. Ithaca, **Cornell University Press**, 1995. 324p.

HUGGINS, L.F. **Small Watershed Hydrology**, 1979. 88p. (In press)

IBGE. Levantamento Sistemático da produção Agrícola: pesquisa mensal de previsão e acompanhamento das safras agrícolas no ano civil. A partir de 2014 todas as Unidades da Federação passam a informar. IBGE - Centro de Documentação e Disseminação de Informações CDDI - Coordenação de Documentação e Biblioteca CDU 31:338.43(81) RJ-IBGE/89-19 ver. 31:633/635(81).

INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ - IAPAR. Recomendações gerais do encontro sobre uso do simulador de chuva em pesquisa de conservação de solo no Brasil. In: Encontro nacional sobre pesquisa de erosão com simuladores de chuva. Londrina, 1975. *Anais...* Londrina, 1975. p.107-120.

KEMPER, W.D. & CHEPIL, W.S. Size distribution of aggregates. In: BLACK, C.A., ed. Methods of soil analysis. Madison, **American Society of Agronomy**, 1965. p.449-510.

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

LACERDA, J.J.J et al. Adubação, produtividade e rentabilidade da rotação entre soja e milho em solo com fertilidade construída. **Pesq. Agropec. Bras.**, Brasília, v.50, n.9, p.769-778, set. 2015.

LANZANOVA, M.E. **Atributos físicos do solo em sistemas de culturas sob plantio direto na integração lavoura-pecuária.** 2005. 132f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Programa de Pós-graduação em Ciência do Solo, Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria.

LEITE, D. **Erosão hídrica sob chuva simulada em um Nitossolo Háplico submetido a diferentes manejos.** (Dissertação de mestrado). Lages, UDESC, 2003. 100 p.

LEITE, D. et al. Erosão hídrica em um Nitossolo Háplico submetido a diferentes sistemas de manejo sob chuva simulada. I - Perdas de solo e água. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 28, p. 1033-1044, 2004.

LOPES, A.S. **Manual internacional da fertilidade do solo.** 2.ed. Piracicaba: Potafos, 1998. 177p.

LOPES, P.R.; COGO, N.P. & LEVIEN, R. Eficácia relativa de tipo e quantidade de resíduos culturais espalhados uniformemente sobre o solo na redução da erosão hídrica. **R. Bras. Ci. Solo**, 11:71-75, 1987

LOSS, ARCÂNGELO et al. Atributos físicos do solo em cultivo de cebola sob sistemas de plantio direto e preparo convencional **Revista Colombiana de Ciências Hortícolas** - Vol. 11 - No. 1 - pp. 105-113, enero-junio 2017

MADEIRA NR. 2009. Inovações tecnológicas no cultivo de hortaliças em sistemas de plantio direto. **Horticultura Brasileira** 27: S4024-

MALUF, HJM, et al. Decomposição de Resíduos de Culturas e Mineralização de Nutrientes em Solo com Diferentes Texturas. **R. Bras. Ci. Solo**, 39:1681-1689, 2015

MARIOTTI, Juliana. **Erosão hídrica em Cambissolo Húmico cultivado com milho e soja sem preparo do solo, nas direções da pendente e em contorno ao declive comparada ao solo sem cultivo.** Dissertação (mestrado) – Centro de Ciências Lages, Universidade do Estado de Santa Catarina, 2012. 74p

MELLO, E. L. et al. Perdas de solo e água em diferentes sistemas de manejo de um Nitossolo Háplico submetido à chuva simulada. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 27, p. 901-909, 2003.

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

Melo, Paulo Cesar Tavares et al. RETROSPECTIVA E AVANÇOS DA CEBOLICULTURA BRASILEIRA NA DÉCADA DE 2000. **Revista Nosso Alho** (ANAPA) Edição 6 - Março de 2010

MENDES, C.A.R. (2006). **Erosão em encosta íngreme sob cultivo perene e com pousio no município de Bom Jardim** – 2006, 337 f. Tese (Doutorado em Ciências)-Programas de Pós-137 graduação de Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro, RJ , 2006.

MONEGAT, C. **Plantas de cobertura do solo: Características e manejo em pequenas propriedades**. Chapecó, Edição do Autor, 1991. 337p

MORAIS, L. F. B., COGO, N. P. Comprimentos críticos de rampa para diferentes manejos de resíduos culturais em sistema de semeadura direta em um Argissolo Vermelho da Depressão Central (RS). **R. Bras. Ci. Solo**, v. 25, p. 1041-1051, 2001.

MORGAN, R. P. C. **Soil erosion and conservation**. 3^a ed. Oxford – UK. Blackwell Publishing Ltd, 2005.

MURPHY, J. & RILEY, J.P. A modified single solution method for determination of phosphate in natural waters. **Analytica Chimica Acta**, 27: 31-36, 1962.

MUZILLI, O. **Manejo da fertilidade do solo**. In: Fundação Instituto Agronômico do Paraná. Plantio Direto no Estado do Paraná. Londrina: IAPAR, p.43-57, 1981.

NUNES, U.R.; ANDRADE JÚNIOR, V.C. ; SILVA, E.B.; SANTOS, N.F.; COSTA, H.A.O.; FERREIRA C.A. Produção de palhada de plantas de cobertura e rendimento do feijão em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, n.6, p.943-948, 2006.

OLIVEIRA et al. Erosão hídrica em um Argissolo Vermelho-Amarelo, sob diferentes padrões de chuva simulada. **R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, v.14, n.2, p.140–147, 2010.

OLIVEIRA, L. C. et al. Perdas de solo, água e nutrientes por erosão hídrica em uma estrada florestal na serra catarinense. **Ciênc. Florest.**, Santa Maria , v. 25, n. 3, p. 655-665, Set. 2015 .

PANACHUKI, E.; et al. Perdas de solo e de água e infiltração de água em Latossolo vermelho sob sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, p.1777-1785, 2011.

PEREIRA, Gilmar Souza; **Análise da erosão hídrica do solo em plantio de Eucalyptus benthamii no município de Otátilio Costa, SC.** / Gilmar Souza Pereira. – Lages, 2014. 79 p.: il.; 21 cm Orientador: Ildegardis Bertol Bibliografia: p. 127-143 Tese (doutorado) –

Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências Agroveterinárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Lages, 2014.

PEREIRA, J. S. Avaliação das perdas de solo por erosão laminar na área de influência da UHE Amador Aguiar. (Dissertação de Mestrado). Universidade Federal de Uberlândia. Programa de pós-graduação em Geografia. 2014.

POLYAKOV, V.O.; NEARING, M.A. Sediment transport in rill flow under deposition and detachment conditions. **Catena**, Amsterdam, v.51, n.1 , p.33-43, 2003.

POTE, D.H et al. Relating extractable soil phosphorus to phosphorus losses in runoff. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, 60:855-859, 1996.

RAMOS, J. C. Cobertura e rugosidade da superfície na proposição de indicadores de qualidade de um Cambissolo Húmico relacionados ao controle da erosão hídrica. (Tese de Doutorado) – Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências Agroveterinárias, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Lages, 2015. 200 p.

RAMOS, J. C. Influência das condições de superfície e do cultivo do solo na erosão hídrica em um Cambissolo Húmico. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 38, p. 1587-1600, 2014.

REICHERT, J.M.; et al. Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. **Ci. Amb.**, 27:29-48, 2003.

REICHERT, José Miguel et al. **Fundamentos da ciência do solo**. Universidade Federal de Santa Maria Centro de Ciências Rurais Departamento de Solos. 2007

RENARD KG, Foster GR, Weesies GA, McCool DK (1996) **Predicting soil erosion by water. A guide to conservation planning with the revised universal soil loss equation (RUSLE)**. Agric. Handbook 703. US Govt Print Office, Washington, DC

RESENDE, A.V.; et al. Fontes e modos de aplicação de fósforo para o milho em solo cultivado da região do Cerrado. **R. Bras. Ci. Solo**, 30:453-466, 2006.

RICCI, Marta SF et al. Cultivo orgânico de cultivares de cebola nas condições da Baixada Fluminense. **Hortic. Bras.** [online]. 2014, vol.32, n.1, pp.120-124. ISSN 0102-0536. <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-05362014000100021>

ROSSI, C. Q. Decomposição e liberação de nutrientes da palhada de braquiária, sorgo e soja em áreas de plantio direto no cerrado goiano. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 34, n. 4, p. 1523-1534, jul. /ago. 2013.

SANTOS G. et al. Chuvas intensas relacionadas à erosão hídrica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** v.14, n.2, p.115–123, 2010

SANTOS, Danilo Rheinheimer , et al Fatores que afetam a disponibilidade do fósforo e o manejo da adubação fosfatada em solos sob sistema plantio direto .**Cienc. Rural** vol.38 no.2 Santa Maria Mar./Apr. 2008

SANTOS, Maria Aparecida do Nascimento. **Erosão hídrica visando obtenção de valores do subfator PLU da RUSLE** – Tese (Doutorado) – Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências Agroveterinárias, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Lages, 2017. 150 p.: il.; 21 cm

SCHICK, J. **Erosão hídrica em Cambissolo Húmico álico submetido a diferentes sistemas de preparo e cultivo do solo.** (Tese de Mestrado). Lages, Universidade do Estado de Santa Catarina, 1999. 114p.

SCHICK, J. 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**, v. 24, p. 427-436, 2000 a.

SCHICK, J.; BERTOL, I.; COGO, N. P.; GONZÁLEZ, A. P. Erodibilidade de um cambissolo húmico sob chuva natural. **R. Bras. Ci. Solo**, 38: 1.906-1.917, 2014a.

SCHICK, J.; BERTOL, I.; COGO, N. P.; GONZÁLEZ, A. P. Erosividade das chuvas de lages, santa catarina. **R. Bras. Ci. Solo**, 38: 1890-1905, 2014b.

SCHICK, J.; et al. Erosão hídrica em Cambissolo Húmico alumínico submetido a diferentes sistemas de preparo e cultivo do solo: II. Perdas de nutrientes e carbono orgânico. **R. Bras. Ci. Solo**, 24:437-447, 2000.

SCHULTZ, L.A. **Manual do plantio direto** – Técnicas e perspectivas. 2ed. Porto Alegre: Sagra, 1987. 124p.

SEGANFREDO, M. L.; Eltz, F. L. F.; Brum, A. C. R. Perdas de solo, água e nutrientes por erosão em sistemas de culturas em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.21, p.287-291, 1997.

SHARPLEY, A.N. et al. Managing agricultural phosphorus for protection of surface waters: Issues and options. **Journal of Environmental Quality**, v.23, p.437-451, 1994.

SHUMAN, L. M. Phosphorus and nitrate nitrogen in runoff following fertilizer application to turfgrass. **J. Environ. Qual.**, v. 31, p. 1710-1715, 2002.

SILVEIRA NETO, A. N. da; SILVEIRA, P, M. da; STONE, L. F.; OLIVEIRA, L. F. C. de. Efeitos de manejo e rotação de culturas em atributos físicos do solo. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 36, n. 1, p. 29- 35, 2006.

SILVEIRA, Pedro Marques et al. Efeitos do manejo do solo sob plantio direto e de culturas na densidade e porosidade de um latossolo. **Biosci. J.**, Uberlândia, v. 24, n. 3, p. 53-59, July/Sept.. 2008.

SLONEKER, L. L.; MOLDENHAUER, W. C. Measuring the amounts of crop residue remaining after tillage. **J. Soil Water Conserv.**, v. 32, p. 231-236, 1977.

SOUZA, G. B. **Perdas de solo, água e nutrientes por erosão hídrica em uma vertente com palha de cana-de-açúcar.** (Tese de doutorado). Jaboticabal, Universidade Estadual Paulista. 2011. 73 p.

SOUZA, J. A., et al. Lucratividade do milho em razão das fontes, doses e épocas de aplicação de nitrogênio. **Revista Ceres**, 59, 321-329. 2012.

SOUZA, Monique. et al. Matéria seca de plantas de cobertura, produção de cebola e atributos químicos do solo em sistema plantio direto agroecológico. **Ciência Rural, Santa Maria**, v.43, n.1, p.21-27, 2013.

SOUZA, R. J.; RESENDE, G. M. **Cultura da cebola**. Lavras: UFLA, 2002. 115 p. (Textos acadêmicos - olericultura, 21).

SOUZA, Rodrigo Fernandes, **Frações da matéria orgânica e perdas de solo, água e nutrientes no cultivo de hortaliças sob sistemas de manejo**. / Rodrigo Fernandes de Souza; Orientação de Cícero Célio de Figueiredo; Co-orientação: Nuno Rodrigo Madeira – Brasília, 2013. 76 p.

SPOSITO, G. **The chemistry of soils**. New York: Oxford University Press, 1989. 234p.

STRECK, E.V. **Erosão hídrica do solo relacionada com o subfator uso anterior da terra do modelo “RUSLE”**. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1999. 195p. (Tese de Doutorado).

TÁVORA, M. R. P. et al. Perdas de solo, água e nutrientes em Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico de Ubajara (CE). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 9, p. 63-66, 1985.

TEDESCO, M.J.; et al. **Análise de solos, plantas e outros materiais**. 2. ed., Porto Alegre, UFRGS, 174p., 1995.

THOMASSON A.J. Towards an objective classification of soil structure. *J. Soil Sci.*, 29:38-46, 1978.

TÔSTO, S.G et al. Valoração da erosão do solo e a sustentabilidade ambiental no espaço rural do município de Araras, SP. **Anais do 5º Seminário sobre Sustentabilidade: Artigos Selecionados**, 2006.

VAN der VINNE, Jhony. **Sistemas de cultivo e métodos de implantação de cebola no verão** / Jhony van der Vinne. - - Jaboticabal, 2006 iv, 60 f., 28 cm Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2006.

VILELA, N.J.; et al. Desafios e oportunidades para o agronegócio de cebola no Brasil. **Horticultura Brasileira, Brasília**, v.23, n.4, p.1029-1033, out-dez 2005.

VOLK, L. B. S. et al. Erosão hídrica influenciada por condições físicas de superfície e subsuperfície do solo resultantes do seu manejo, na ausência de cobertura vegetal. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 28, p. 763-774, 2004.

VOORHEES, W.B. Relative effectiveness of tillage and natural forces in alleviating wheel-induced soil compaction. **Soil Science Society of America Journal**, v.47, p.129-133, 1983.

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

APÊNDICE

APÊNDICE 1. Intensidade da chuva simulada por tratamento e por teste aplicado.

TRATAMENTOS	CHUVA APLICADA (mm/h ⁻¹)			
	T1	T2	T3	T4
PDM	78	71	81	80
PDS	78	71	81	80
PCM	77	74	80	84
PCS	77	74	80	84
SSC	82	70	83	85

PDM=Plantio direto com resíduo do milho, PDS= Plantio direto com resíduo da soja, PCM= Plantio convencional com resíduo do milho, PCS= Plantio convencional com resíduo da soja; SSC=Solo sem cobertura.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

APÊNDICE 2. Declividade (%) por parcela de cada tratamento.

Tratamento por Parcela	Declividade (%)
PDM ¹	13,89
PDM ²	12,93
PDS ¹	14,52
PDS ²	13,69
PCM ¹	13,86
PCM ²	9,75
PCS ¹	13,39
PCS ²	9,56
SSC ¹	10,24
SSC ²	10,81

PDM₁=Plantio direto com resíduo do milho (parcela 1), PDM₂=Plantio direto com resíduo do milho (parcela 2), PDS₁= Plantio direto com resíduo da soja, (parcela 2), PDS₂= Plantio direto com resíduo da soja, (parcela 2), PCM₁= Plantio convencional com resíduo do milho, (parcela 1) PCM₂= Plantio convencional com resíduo do milho, (parcela 2), PCS₁= Plantio convencional com resíduo da soja (parcela 1); PCS₂= Plantio convencional com resíduo da soja (parcela 2).

Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

ANEXOS

ANEXO 1. Valores mensais do número e altura de chuvas erosivas, não erosivas e o total de chuva e erosividade(EI_{30}), observados no ano de 2017 em Lages-SC

Mês/ano	-----Número de chuva-----			-----Altura de chuva (mm)-----			EI_{30} MJ mm $ha^{-1} h^{-1}$
	Erosiva	Não erosiva	Total	Erosiva	Não erosiva	Total	
01 2017	3	7	10	101,2	34,2	135,4	484,8
02 2017	4	2	6	93,2	03,4	96,6	315,2
03 2017	1	9	10	13,4	35,0	48,4	25,6
04 2017	4	3	7	60,2	11,7	71,9	904,6
05 2017	4	4	8	298,6	17,3	315,9	1121,4
06 2017	2	4	6	187,2	17,3	204,5	1212,1
07 2017	0	2	2	00,0	08,0	08,0	00,0
08 2017	3	1	4	84,8	01,0	85,8	163,2
09 2017	1	3	4	33,2	04,5	37,7	29,0
10 2017	4	11	15	57,2	44,8	102,0	143,4
11 2017	4	4	8	155,6	08,8	164,4	1127,4
12 2017	2	5	7	99,2	33,2	132,4	414,3
Total	32	55	87	1183,8	219,2	1403,0	5941,0

Fonte: Wolschick, (2018).

