



UNIVERSIDADE FEDERAL DA FRONTEIRA SUL - UFFS
CAMPUS CERRO LARGO
CURSO DE AGRONOMIA

MICAEL S. MALLMANN

**INFILTRAÇÃO E ARMAZENAMENTO DE ÁGUA EM SISTEMAS DE MANEJO DE
SOLO E INFLUÊNCIA SOBRE A CULTURA DE MILHO EM UM LATOSSOLO
ARGILOSO**

CERRO LARGO - RS

2014

MICAEL S. MALLMANN

**INFILTRAÇÃO E ARMAZENAMENTO DE ÁGUA EM SISTEMAS DE MANEJO DE
SOLO E INFLUÊNCIA SOBRE A CULTURA DE MILHO EM UM LATOSSOLO
ARGILOSO**

Trabalho de conclusão de curso de graduação
apresentado como requisito para obtenção de
grau de Bacharel em Agronomia da Universidade
Federal da Fronteira Sul.

Orientador: Prof. Dr. Douglas R. Kaiser

CERRO LARGO - RS

2014

Mallmann, Micael Stolben

Infiltração e armazenamento de água em sistemas de manejo de solo e influência sobre a cultura do milho em um Latossolo argiloso/ Micael Stolben Mallmann. -- 2014. 56 f.:il.

Orientador: Douglas Rodrigo Kaiser.

Trabalho de conclusão de curso (graduação) - Universidade Federal da Fronteira Sul, Curso de Agronomia , Cerro Largo, RS, 2014.

1. Manejo de solo. 2. Infiltração de água no solo. 3. Armazenamento de água no solo. 4. Compactação do solo. I. Kaiser, Douglas Rodrigo, orient. II. Universidade Federal da Fronteira Sul. III. Título.

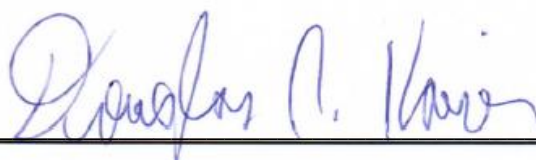
MICAEL S. MALLMANN

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentado como requisito para obtenção de grau de Bacharel em Agronomia da Universidade Federal da Fronteira Sul.

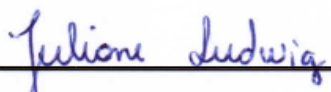
Orientador: Prof. Dr. Douglas R. Kaiser

Este trabalho de conclusão de curso foi defendido e aprovado pela banca em 03 de dezembro de 2014.

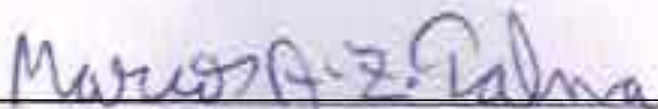
BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Douglas R. Kaiser - UFFS



Prof^a. Dr^a. Juliane Ludwig - UFFS



Prof. Dr. Marcos A. Z. Palma - UFFS

Dedico este trabalho a toda minha família, em especial a meus pais Miguel e Elaine, pelo apoio, encorajamento, amor e pelos ensinamentos que formaram os alicerces de minha história, sendo meus verdadeiros exemplos de vida.

AGRADECIMENTOS

À minha família, meu pai Miguel, minha mãe Elaine e meu irmão Henrique, pelo incentivo nos momentos de dificuldade, apoio, carinho e amizade e à minha namorada Cristiane Silva, que esteve sempre presente em cada passo desse trabalho e pela amizade e companheirismo.

À Universidade Federal da Fronteira Sul, campus Cerro Largo, pela oportunidade e aos professores desta universidade pelos ensinamentos, em especial aos professores Douglas R. Kaiser e Ivann C. Lago pelas orientações, ensinamentos, apoio e amizade durante o período acadêmico;

Ao professor Douglas R. Kaiser, pela orientação, amizade, ensinamentos e apoio durante a execução do experimento e no período acadêmico.

Aos colegas de projeto pela ajuda durante a execução do experimento e pela amizade. Aos técnicos de laboratórios da Universidade, que auxiliaram durante a realização do experimento.

Muito obrigado a todos.

RESUMO

O solo é o armazenador natural de água para as plantas no ecossistema, e a entrada de água no solo ocorre através do processo de infiltração durante as precipitações e depende de um manejo físico do solo que favoreça a sua estruturação, mantendo uma boa proporção de poros grandes e contínuos. Se o solo é mal manejado ou apresenta camadas compactadas, o processo de infiltração é limitado e a água, ao invés de infiltrar, escoar superficialmente ocasionando a degradação do solo e estradas, a contaminação dos rios com nutrientes e pesticidas e intensificação das enchentes, e podendo prejudicar o armazenamento de água no solo. Para avaliar o efeito do manejo do solo nos atributos físicos do solo, no armazenamento e na infiltração de água no solo, foi instalado um experimento na área experimental da UFFS, campus Cerro Largo, sob um Latossolo Vermelho argiloso manejado em plantio direto, onde foram criados diferentes sistemas de preparo e compactação do solo e implantada a cultura de milho. Os tratamentos implantados foram: 1) PD: Plantio direto consolidado 2) PDC: Plantio direto compactado por um trator agrícola 3) ESC: preparo com escarificação até próximo de 20 cm de profundidade e 4) ESC1: semeadura após um ano da escarificação. Avaliou-se a densidade, a porosidade total, a macroporosidade, a microporosidade do solo e a condutividade hidráulica do solo saturado nas camadas 0-0,05 m, 0,05-0,10 m, 0,10-0,20 m, 0,20-0,30 m. A infiltração de água no solo foi medida com infiltrômetros de anéis. Os dados observados foram ajustados ao modelo de Kostiaikov para estimar a capacidade de infiltração. Avaliou-se também a distribuição radicular das plantas de milho, a resistência do solo a penetração, o armazenamento de água durante o desenvolvimento e o rendimento da cultura de milho. A escarificação do solo diminuiu a densidade e aumentou a porosidade total e a macroporosidade do solo, porém seu efeito foi efêmero, durando menos de doze meses. O armazenamento de água não foi influenciado pelos tratamentos avaliados. O tratamento plantio direto apresentou a maior capacidade de infiltração de água no solo. A produtividade da cultura não foi influenciada pelos manejos de solo avaliados.

Palavras-Chave: Compactação do solo; atributos físicos do solo; rendimento de grãos.

ABSTRACT

Soil is the natural storer of water to the plants in the ecosystem, and the water into the soil occurs through the process of infiltration during rainfall and depends on physical soil management to encourage their structuring, maintaining a good proportion of pores large and continuous. If the soil is poorly managed or has compacted layers, the infiltration process is limited and water, rather than infiltrate, flowing surface causing soil degradation and roads, contamination of rivers with nutrients and pesticides and intensification of floods, and could adversely affect the water storage in the soil. To evaluate the effect of soil management on soil physical properties, storage and water infiltration into the soil, an experiment was conducted in the experimental area of UFFS, Cerro Largo campus, under a Oxisol managed in tillage, which were created different systems of tillage and soil compaction and deployed the corn crop. The implanted treatments were: 1) PD: Consolidated Tillage 2) PDC: Tillage compressed by a tractor 3) ESC: tillage with chiseling until close to 20 cm deep and 4) ESC1: sowing after a year of scarification. We evaluated the density, total porosity, macroporosity, microporosity and soil hydraulic conductivity of saturated soil layers 0-0.05 m, 0.05-0.10 m, 0.10-0.20 m , 0.20-0.30 m. The water infiltration into the soil was measured with rings infiltrometers. The observed data were adjusted to Kostiakov model to estimate the infiltration capacity. Was also evaluated in the root distribution of maize plants, soil penetration resistance, water storage during development and yield in maize culture. The soil scarification decreased density and increased total porosity and macroporosity of the soil, but its effect was short-lived, lasting less than twelve months. Water storage was not affected by treatments. Treatment tillage showed the highest water infiltration capacity of the soil. The crop yield was not affected by managements evaluated soil.

Keywords: Soil compaction; physical attributes of the soil; grain yield.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Área plantada com as culturas de milho e soja no período de 1990 a 2013.	15
Figura 2. Umidade volumétrica do solo, camada de 0 a 0,1 m, em sistemas de preparo e manejo de solo na cultura do milho num Latossolo Vermelho, Cerro Largo.	36
Figura 3. Umidade volumétrica do solo, camada de 0,1 a 0,2 m, em sistemas de preparo e manejo de solo na cultura do milho num Latossolo Vermelho, Cerro Largo.	37
Figura 4. Umidade volumétrica do solo, camada de 0,2 a 0,3 m, em sistemas de preparo e manejo de solo na cultura do milho num Latossolo Vermelho, Cerro Largo.	38
Figura 5. Armazenamento de água no solo, camada de 0 a 0,1 m, em sistemas de preparo e manejo de solo na cultura do milho num Latossolo Vermelho, Cerro Largo.	39
Figura 6. Armazenamento de água no solo, camada de 0,1 a 0,2 m, em sistemas de preparo e manejo de solo na cultura do milho num Latossolo Vermelho, Cerro Largo.	40
Figura 7. Armazenamento de água no solo, camada de 0,2 a 0,3 m, em sistemas de preparo e manejo de solo na cultura do milho num Latossolo Vermelho, Cerro Largo.	41
Figura 8 - Precipitação ocorrida em Cerro Largo, RS, no período de 01/12/2013 e 30 de março de 2014. Dados coletados na estação meteorológica automática da UFFS.	42
Figura 9 - Resistência a penetração do solo em sistemas de preparo e manejo de solo na cultura do milho num Latossolo Vermelho, Cerro Largo, RS.	42
Figura 10 - Distribuição do sistema radicular de plantas de milho no tratamento plantio direto. Cerro Largo, RS.	44
Figura 11 - Distribuição do sistema radicular de plantas de milho no tratamento escarificado. Cerro Largo, RS.	44
Figura 12 - Distribuição do sistema radicular de plantas de milho no	45

tratamento plantio direto compactado. Cerro Largo, RS.

Figura 13 - Distribuição do sistema radicular de plantas de milho no tratamento escarificado 1 ano antes da semeadura. Cerro Largo, RS. 45

direto. Cerro Largo, RS.

Figura 14 - Temperaturas médias, máximas e precipitação ocorrida em Cerro Largo, RS, no período de 01/12/2013 e 30 de março de 2014. Dados coletados na estação meteorológica automática da UFFS. 47

Figura 15 - Espigas de milho com problemas de fecundação devido a altas temperaturas ocorridas durante o período de polinização das plantas. Cerro Largo, RS, safra 2013/14. 47

Figura 16 - Taxa de infiltração de água em um Latossolo Vermelho em Cerro Largo, RS. 48

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Taxa de infiltração de água em diferentes tipos de solo e manejos.	22
Tabela 2- Granulometria (g kg^{-1}) de uma Latossolo Vermelho distroférico típico onde foi implantado o experimento, Cerro Largo, RS.	24
Tabela 3- Histórico de culturas utilizadas na área onde foi instalado o experimento,	24
Tabela 4- Umidade gravimétrica do solo no momento da aplicação dos tratamentos.	25
Tabela 5- Umidade gravimétrica do solo ao ser realizada a resistência do solo à penetração, Cerro Largo, RS.	27
Tabela 6. Densidade do solo (Mg m^{-3}) em sistemas de preparo e manejo do solo em um Latossolo Vermelho, Cerro Largo, RS.	29
Tabela 7. Porosidade total solo ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$) em sistemas de preparo e manejo do solo em um Latossolo Vermelho, Cerro Largo, RS.	31
Tabela 8. Microporosidade do solo ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$) em sistemas de preparo e manejo do solo em um Latossolo Vermelho, Cerro Largo, RS .	31
Tabela 9. Macroporosidade do solo ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$) em sistemas de preparo e manejo do solo em um Latossolo Vermelho, Cerro Largo, RS .	32
Tabela 10. Condutividade hidráulica do solo saturado (mm h^{-1}) em sistemas de preparo e manejo do solo em um Latossolo Vermelho, Cerro Largo, RS.	33
Tabela 11. Densidade máxima do solo (Mg m^{-3}) em sistemas de preparo e manejo do solo em um Latossolo Vermelho, Cerro Largo, RS.	34
Tabela 12. Densidade relativa do solo em sistemas de preparo e manejo do solo em um Latossolo Vermelho, Cerro Largo, RS.	35
Tabela 13. Produtividade e massa de 1.000 grãos de milho em sistemas de preparo e manejo de solo num Latossolo argiloso em Cerro Largo, RS.	46

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

Símbolo	Descrição	Unidade
Ds	Densidade	Mg m ⁻³
PT	Porosidade Total	m ³ m ⁻³
Mic	Microporosidade	m ³ m ⁻³
Mac	Macroporosidade	m ³ m ⁻³
Ksat	Condutividade hidráulica do solo saturado	mm h ⁻¹
Ug	Umidade Gravimétrica	g g ⁻¹
Uv	Umidade Volumétrica	m ³ m ⁻³
Ds _{max}	Densidade máxima	Mg m ⁻³
Ds _{relativa}	Densidade Relativa	
CC	Capacidade de Campo	m ³ m ⁻³
PMP	Ponto de murcha permanente	m ³ m ⁻³
PD	Plantio Direto	
PDC	Plantio direto com compactação adicional	
ESC	Manejo de solo escarificado	
ESC1	Manejo de solo escarificado um ano antes da semeadura	
DAS	Dias após a emergência	

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
2.1 MANEJO DE SOLO PARA A CULTURA DO MILHO	15
2.2 SISTEMA DE MANEJO E CARACTERÍSTICAS DO SOLO	16
2.3 ÁGUA NO SOLO	21
3 MATERIAL E MÉTODOS	24
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	29
4.1 DENSIDADE, POROSIDADES E CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA DO SOLO	29
4.2 DENSIDADE MÁXIMA E DENSIDADE RELATIVA DO SOLO	34
4.3 UMIDADE VOLUMÉTRICA E ARMAZENAMENTO DE ÁGUA NO SOLO NA CULTURA DO MILHO	35
4.4 RESISTÊNCIA A PENETRAÇÃO DO SOLO E CRESCIMENTO RADICULAR DE PLANTAS DE MILHO	42
4.5 PRODUTIVIDADE E MASSA DE 1.000 GRÃOS	45
4.6 INFILTRAÇÃO DE ÁGUA NO SOLO	48
5 CONCLUSÕES	50
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	51
7 APÊNDICES	56

1 INTRODUÇÃO

A disponibilidade de água no solo, juntamente com os nutrientes disponíveis e o ambiente, é um fator limitante para o desenvolvimento e para a produtividade das culturas agrícolas.

O solo é o armazenador natural de água para as plantas no ecossistema, e a entrada de água no solo ocorre através do processo de infiltração durante as precipitações. Esse processo é dependente das condições superficiais e estruturais do solo (VOLK e COGO, 2008), principalmente da quantidade e tamanho e continuidade do sistema poroso (HILLEL, 1998). Em períodos chuvosos e em condições de boa infiltração ocorre a saturação do solo até camadas abaixo das raízes das plantas, e o excesso de água drena livremente, recarregando o lençol freático. Quando as condições superficiais e estruturais do solo não são favoráveis a infiltração, a água escoará superficialmente, podendo ocasionar erosão hídrica e carrear partículas de solo contendo nutrientes e pesticidas até os rios (GONÇALVES et al., 2005).

No plantio direto a ciclagem de raízes é responsável por criar uma rede de poros contínuos (WILLIAMS e WEIL, 2004), proporcionando um maior aeração e infiltração de água no solo. Os sistemas de manejo e o tráfego de máquinas agrícolas alteram as características estruturais do solo, principalmente nas camadas superficiais do solo (STRECK et al., 2004). Solos compactados devido a retirada da cobertura e/ou tráfego intenso e em períodos não propícios estão sendo comumente encontrados em muitas propriedades, principalmente propriedades com integração pecuária leiteira e produção de silagem de milho.

O processo de compactação reduz a densidade e a macroporosidade do solo, aumenta a resistência deste para o crescimento radicular, em condições de baixa umidade, e reduz a sua oxigenação, quando úmido (MARSCHNER, 1995).

A escarificação mecânica tem sido apontada como alternativa imediata para reduzir a compactação do solo (CAMARA e KLEIN, 2005) e aumentar a taxa de infiltração e favorecer o ambiente de crescimento radicular das plantas, porém em sistemas de semeadura direta, a escarificação do solo é pouco comum, além de representar um maior consumo de energia e aumentar os custos de produção.

Objetivou-se com este trabalho avaliar o efeito de diferentes manejos de solo em atributos físicos do solo, como densidade, porosidade total, macroporosidade,

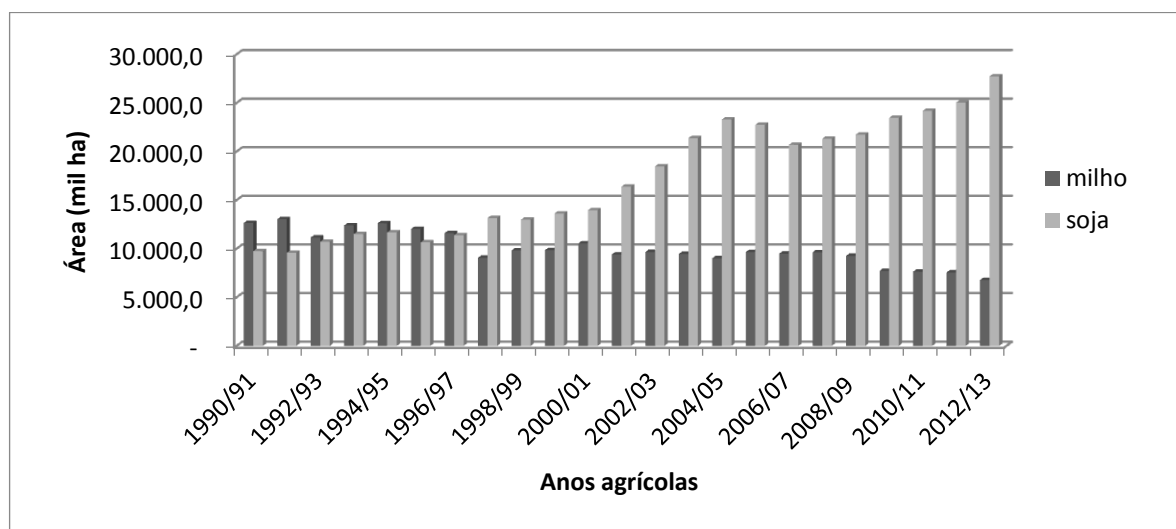
microporosidade e condutividade hidráulica do solo saturado, na infiltração de água no solo e no crescimento radicular de plantas de milho, bem como a disponibilidade de água e componentes de rendimento na cultura de milho em um Latossolo Vermelho distroférico típico.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 MANEJO DE SOLO PARA A CULTURA DO MILHO

O milho é uma das principais culturas agrícolas produzidas no Brasil e possui grande importância econômica, onde destaca-se por ser utilizado para a produção de ração animal e consumo. A área ocupada pelas culturas de milho e soja juntas no Brasil alcança mais de 34.000.000 ha nas safras 2012/2013 (CONAB, 2014). Porém nota-se uma constante diminuição da área plantada com milho no país, ao contrário da área utilizada para a produção de soja, que vem crescendo nas últimas décadas. A evolução das áreas plantadas com milho e soja está na figura 1:

Figura 1 - Área plantada com as culturas de milho e soja no Brasil no período de 1990 a 2013.



Fonte de dados: CONAB (2014).

Nota: Gráfico elaborado pelo autor.

Com a constante diminuição na área de produção de milho, é necessário um manejo de solo adequado para o desenvolvimento da cultura para que ela expresse o máximo potencial produtivo da cultivar ou variedade. Além de sementes com potencial genético e tratos culturais, é indispensável um manejo de solo adequado, tanto químico, como biológico e físico.

O manejo mais utilizado para a produção de milho é o sistema plantio direto. Neste sistema o solo é revolvido somente na linha de semeadura, utilizando

equipamentos adequados para tal processo. A manutenção da palha na superfície do solo e a utilização de rotação de culturas somam-se ao mínimo revolvimento do solo e constituem-se nas premissas básicas deste sistema. Se estas prerrogativas não for atendidas, o desenvolvimento da lavoura pode ser comprometido em algum momento (ARATANI, 2008).

Porém, mesmo em áreas sob o sistema plantio direto, a ocorrência de camadas compactadas é cada vez mais frequente, principalmente em solos argilosos. A compactação é um dos principais processos de degradação dos solos agrícolas (HORN et al., 2003; apud NICOLOSO et al., 2008) e se expressa pelo aumento da densidade do solo e pela redução do seu espaço poroso em resposta a um histórico de cargas ou pressões exercidas na sua superfície (BAVER et al., 1972).

Em estudos realizados pela Debiasi et al (2008), áreas manejadas sob o sistema plantio direto apresentou maiores produtividades em anos de déficit hídrico que áreas manejadas sob o sistema convencional (com aração e gradagem), isto por que, neste sistema de manejo, a melhor estrutura do solo propicia maior retenção de água e melhores condições para a absorção desta pelas plantas.

Em áreas com a presença de camadas compactadas de solo, o crescimento radicular das plantas é dificultado, e em anos de deficiência hídrica a produtividade das culturas é prejudicada. A escarificação mecânica é uma alternativa para reduzir os problemas causados pela compactação do solo. Comparando a produtividade de soja e milho em diferentes manejos de solo, Secco et al (2009) concluíram que a escarificação aumentou a produtividade de grãos de milho, porém em soja não ocorreu modificações no rendimento quando comparados as produtividade de solo compactados.

2.2 SISTEMA DE MANEJO E CARACTERÍSTICAS DO SOLO

O solo é conhecido como a camada externa e agricultável da superfície terrestre (REICHARDT e TIMM, 2012). É originário da rocha, que através da ação de processos físicos, químicos e biológicos de desintegração, decomposição e recombinação. Os fatores responsáveis pela formação do solo são: material de origem, tempo, clima, relevo e organismos vivos.

O solo é dividido em três frações, sendo elas: a fração sólida, composta

principalmente por partículas que formam o solo, podendo estas ser divididas em areia, silte e argila; a fração líquida, composta por uma solução de sais minerais, substâncias orgânicas e água; e a fração gasosa, composta principalmente por gases, como oxigênio e gás carbônico (REICHARDT E TIMM, 2012).

Este meio é por armazenar água para as plantas nos ecossistemas, e a entrada de água no solo para sua recarga ocorre através do processo de infiltração durante as precipitações. Esse processo é dependente das condições superficiais e estruturais do solo (VOLK e COGO, 2008), principalmente da quantidade, tamanho e continuidade do sistema poroso (HILLEL, 1998).

A classe dos Latossolos é bastante representativa no Rio Grande do Sul (STRECK et al., 2002) e vem assumindo importante papel nos sistemas de produção dessa região. Esses solos são argilosos e naturalmente bem estruturados e profundos, com boa capacidade de armazenamento de água. No entanto, nos últimos anos tem sido verificado que mesmo nesses solos, tem ocorrido deficiência hídrica em curtos períodos de estiagem. Esse fato pode estar sendo intensificado pelo processo de compactação que esses solos vêm sofrendo, quando usado o sistema plantio direto com alta intensidade de uso do solo e frequentes entradas de máquinas e pastejo de animais em períodos em que o solo se encontra com alta umidade. Nessas condições, o processo de entrada de água da chuva via infiltração pode estar sendo comprometido, e dessa forma, terá menos água disponível armazenada no perfil.

O manejo do solo nas atividades agrícolas tem sido o grande responsável pelas grandes alterações na estrutura do solo, afetando suas propriedades físico-hídricas (KLEIN e CAMARA, 2007). Dependendo do manejo utilizado em um determinado solo pode ocorrer alterações nos atributos do mesmo, tanto na superfície como em profundidade, e, indiretamente, na relação solo-planta-atmosfera. Para Veiga (2005), as alterações na superfície dizem respeito à manutenção ou supressão da cobertura promovida por resíduos culturais e pela rugosidade superficial remanescente, que interferem nas taxas de infiltração, de escoamento e de evaporação de água. Conforme o mesmo autor, a infiltração de água é uma das características físicas que melhor retrata as alterações provocadas no solo pelo manejo utilizado, podendo-se prever, através do manejo, a capacidade de absorção e escoamento superficial de água.

Os sistemas de manejo utilizados em uma lavoura determinam alterações nas características físicas e químicas do solo, cuja intensidade é dependente das condições edafoclimáticas e do tempo de uso.

O preparo do solo constitui-se na prática de manejo que mais altera as propriedades físicas do solo e seu efeito depende do implemento utilizado, da intensidade de seu uso e da condição de umidade por ocasião das operações.

O uso continuado de um mesmo sistema de preparo pode resultar na criação de camadas compactadas abaixo da profundidade de preparo, com restrição ao crescimento radicular e fluxo de água e de ar (VEIGA, 2005). Segundo o autor, na ausência de preparo (plantio direto), corre-se o risco de promover a compactação superficial progressiva em função do tráfego de máquinas pesadas sobre o solo em condições de umidade favorável à deformação plástica do solo. Por outro lado, a ausência de preparo resulta na criação de um sistema poroso mais estável e contínuo em profundidade, como resultado da atividade da mesofauna e da decomposição das raízes, promovendo condições favoráveis para o fluxo de água e de ar para camadas mais profundas e, ao mesmo tempo, aumentando a resistência mecânica à deformação e prevenindo a transmissão de tensões aplicadas superficialmente para camadas mais profundas, geralmente com menor resistência à deformação.

Com o plantio direto objetivou-se viabilizar a sustentabilidade da capacidade produtiva do solo, por meio da redução de perdas por erosão hídrica e eólica, mantendo a cobertura vegetal no solo (palhada) e reduzindo o assoreamento e a eutrofização de represas e cursos d'água (FONTANELA, 2008). Também pode ocorrer melhoria das condições físicas, químicas e biológicas do solo, elevando sua capacidade de infiltração e retenção de água e seu teor de matéria orgânica, promovendo, portanto, a preservação do meio ambiente.

Uma das melhorias esperadas no plantio direto é a formação de uma rede estável de macroporos, originário da atividade de macro e meso organismos do solo e da ação do sistema radicular das culturas antecessora, elevando a infiltração e o armazenamento de água no solo, reduzindo a erosão, manutenção e pequeno aumento da matéria orgânica, refletindo em menor flutuação da produtividade ao longo dos anos (SILVA, 2003). Porém, conforme Secco (2003), no sistema plantio direto, a ausência de revolvimento do solo e a manutenção de teores de umidade mais elevados em virtude da manutenção dos resíduos culturais, aliada ao tráfego

sistemático de máquinas, podem promover compactação excessiva na superfície do solo, principalmente em solos com elevados teores de argila. Conforme Secco (2003), o tráfego intenso de máquinas agrícolas e de animais durante a alimentação em áreas com pastagens, sob condições de alta umidade do solo, acarreta um rearranjo das partículas de solo, ocasionando um aumento da densidade do solo e a redução no tamanho e continuidade dos poros.

Conforme Seco et al (2009), as maiores densidades e resistências a compactação em Latossolos sob plantio direto ocorrem na camada de 0,07m a 0,12m de profundidade. Veiga (2005), avaliando manejos de solo, concluiu que os maiores estados de compactação encontram-se na camada entre 0,05 e 0,2m de profundidade após seis meses da última operação de preparo do solo.

A compactação do solo é caracterizada pela diminuição do volume de vazios ocupados pela água ou pelo ar, limitando a infiltração e a redistribuição de água no solo e reduzindo as trocas gasosas e a disponibilidade de oxigênio, que afeta o crescimento das raízes em busca de água e nutrientes, limitando o crescimento radicular por impedimento mecânico, disponibilidade de oxigênio e nutrientes, compactação e dilaceramento radicular, temperatura e a umidade do solo (CAMARGO e ALLEONI, 1997). Isso culmina com a redução do crescimento da parte aérea e da produtividade das culturas (VIEIRA, 2006).

Um solo pode estar quimicamente adequado, mas, ocorrendo a compactação, as plantas não se beneficiam adequadamente dos nutrientes disponíveis, visto que o desenvolvimento de novas raízes fica prejudicado e são elas as principais responsáveis pelo processo de absorção dos nutrientes (REICHERT et al., 2007).

Porém o efeito da compactação sobre as plantas é dependente da umidade do solo, pois essa altera a resistência, o espaço aéreo e temperatura do solo, que são os fatores de crescimento das plantas (LETEY, 1985). Em anos em que a precipitação é acima do normal ou frequente nos períodos de semeadura até a colheita, o processo de compactação do solo é favorecido. Por outro lado, em anos secos, ou durante curtas estiagens, o efeito da compactação sobre a resistência do solo e sobre o crescimento das raízes das plantas é intensificado (REICHERT et al., 2007), mas a resposta da planta e o nível de dano vão depender da fase do ciclo, da magnitude e do tempo em que as restrições ocorrem (COLLARES et al., 2006).

Os solos cuja constituição seja de partículas de mesmo tamanho, são menos susceptíveis ao processo de compactação, comparados àqueles onde há mistura de

argila, silte e areia (MANTOVANI, 1987). Segundo ele, isto se deve ao fato das partículas de tamanho diferentes se arranjam e preencherem os poros, quando submetidas a uma pressão no solo.

A compactação do solo pode aumentar a retenção de água na camada com maior densidade, porém reduz a capacidade da planta explorar o solo, por dificultar o crescimento radicular e reduziu a aeração do solo (KAISER, 2010),

A ausência de revolvimento do solo, associada à maior intensidade de uso, expõe o solo a intenso e continuado tráfego de máquinas em condições inadequadas de umidade e contribui para alterar a qualidade estrutural do solo, o que acarreta aumento da compactação em muitas áreas manejadas sob esse sistema (COLLARES et al., 2006).

A escarificação é uma das alternativas recomendadas freqüentemente para reduzir a compactação dos solos. Para Silveira (1988), escarificar significa romper o solo até a camada de 0,30 m, com o uso de implementos denominados escarificadores. Conforme Silveira (1988), esses implementos contêm hastes que são utilizados no manejo primário do solo, e que apresentam vantagens sobre os implementos de discos por não promoverem uma inversão de camadas, obtendo-se com isto, maior capacidade operacional e, principalmente, menor alteração da estrutura do solo. São utilizados no preparo do solo e rompimento de camadas compactadas superficial, facilitando, assim, a penetração das raízes e a infiltração da água no solo.

A escarificação mecânica tem sido sugerida para aliviar a compactação do solo em áreas de semedura direta, pois reduz a densidade do solo e melhora a condutividade hidráulica e a taxa de infiltração de água (CÂMARA E KLEIN, 2005). Segundo os autores, a escarificação esporádica em solos sob plantio direto proporciona condições físico-hídrica-mecânicas do solo mais favoráveis ao desenvolvimento das plantas, especificamente pela redução na resistência mecânica à penetração e pela não redução do teor de matéria orgânica.

Drescher et al (2011) observaram que a intervenção mecânica apresenta potencial efêmero para mitigar a compactação e melhorar a estrutura do solo, com duração de até dois anos e meio dos atributos porosidade total e macroporosidade após a escarificação, e a densidade do solo depois da aração.

Outra alternativa para reduzir a compactação do solo é a palha mantida na superfície do solo. Além de aumentar o teor de matéria orgânica do solo, que é

favorável aos solos, a palha em superfície dissipa a energia de compactação causada por máquinas agrícolas (BRAIDA et al, 2006), atuando como agente amortecedor do impacto das máquinas.

Cada solo apresenta um comportamento em relação à compactação, principalmente pela sua distribuição do tamanho de partículas e mineralogia. O incremento da matéria orgânica no solo e a manutenção dos resíduos culturais na superfície do solo, além de contribuírem para maior atividade biológica e disponibilidade de nutrientes para as plantas, podem minimizar o efeito da compactação (REICHERT et al., 2007),

2.3 ÁGUA NO SOLO

A água é fator fundamental na produção vegetal, sendo que sua falta ou excesso afetam de maneira decisiva o desenvolvimento das plantas e, por isso, é necessário que se tenha um manejo racional para que se maximize a produção agrícola (REICHARDT E TIMM, 2012).

Através do processo de infiltração da água no solo que ocorre a recarga da água no solo. Autores como Richardt e Timm (2012) denominam infiltração como sendo o processo pelo qual a água entra no solo e perdura enquanto houver disponibilidade de água em sua superfície. O processo de infiltração e o armazenamento de água no solo estão diretamente ligados a condições físicas e estruturais do solo, como a estrutura, a textura do solo, a profundidade, a agregação, a granulometria e o sistema poroso do solo. O manejo do solo interfere em algumas destas características do solo, como a estrutura, alterando a densidade, a porosidade e a condutividade hidráulica do solo, afetando assim o processo de infiltração da água no solo.

A disponibilidade de água para as plantas depende não só da quantidade de água que infiltra e é retida no solo, mas também da quantidade que pode ser acessada e utilizada pela planta (REICHERT et al., 2011). Por isso, um manejo que propiciam as plantas explorar uma maior quantidade e profundidade de solo é imprescindível para que em períodos de menor disponibilidade hídrica, estas plantas consigam absorver água em quantidade necessária para seu desenvolvimento.

O potencial de água no solo representa a diferença de energia do sistema entre o estado da água no solo e um estado padrão, portanto, representa o seu potencial de energia. Este potencial que determinará a tendência de movimento da água no solo, sendo que diferentes componentes irão influenciar no potencial da água no solo, sendo eles: o componente de pressão, que aparece toda vez que a pressão atua sobre a água no solo; a componente gravitacional, que ocorre devido a presença do campo gravitacional terrestre; a componente osmótica, que aparece pelo fato da água no solo ser uma solução de sais e outros solutos e a água no estado padrão ser pura; e o componente matricial, que ocorre devido a interação que ocorre entre a água e a matriz sólida do solo, como a capilaridade, forças de adsorção e forças elétricas (RICHARDT E TIMM, 2012).

Os dados de infiltração de água no solo são variáveis (**Tabela 1**), e são resultantes das diferenças das características naturais do solo, pelas alterações ocasionadas pelo manejo do solo e pelo método utilizado para avaliar a infiltração da água no solo (REICHERT, 2011).

Tabela 1. Taxa de infiltração de água em diferentes tipos de solo e manejos.

Autor	Solo	Método	Manejo	Taxa de Infiltração (mm h ⁻¹)
Silva et al. (2009)	Latossolo Vermelho distrófico	Anéis concêntricos	Plantio Direto	30
Abreu et al. (2004)	Latossolo Vermelho distroférico	Anéis concêntricos	Plantio Direto	4
Camara e Klein (2005)	Latossolo Vermelho distrófico típico	Anéis concêntricos	Plantio direto	26
			Plantio Direto escarificado	100
Vieira e Klein (2007)	Latossolo Vermelho distrófico típico	Anéis concêntricos	Plantio direto	13
			Plantio Direto escarificado	27
Barcelos et al. (1999)	Latossolo Vermelho escuro	Simulador de chuva	Preparo convencional	71
			Cultivo mínimo	92
			Plantio Direto	86

Fonte: Adaptado de Reichert et al. (2011).

Embora se tenha estudos que obtiveram resultados de infiltração de água no solo, trabalhos em áreas que o solo apresenta camadas compactadas ainda são poucos, sendo necessários estudos nestas áreas para saber como a infiltração se comporta em áreas com problemas de compactação.

3 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado na área experimental da Universidade Federal da Fronteira Sul, campus Cerro Largo, RS. O solo da área experimental pertence à Unidade de Mapeamento Santo Ângelo, classificado como Latossolo Vermelho distroférico típico (Embrapa, 2006) cultivado sob plantio direto à 20 anos.

Tabela 2- Granulometria (g kg^{-1}) de uma Latossolo Vermelho distroférico típico onde foi implantado o experimento, Cerro Largo, RS.

Areia	Silte	Argila
94	325	581

Tabela 3- Histórico de culturas utilizadas na área onde foi instalado o experimento,

Ano Agrícola								
2009	2009/10	2010	2010/11	2011	2011/12	2012	2012/13	2013
Trigo	Soja	Trigo	Soja	Aveia	Milho	Aveia	Milho	Aveia

Foram aplicados quatro tratamentos sendo eles:

1. Plantio Direto (PD): para este tratamento foram mantidas as condições iniciais do solo;

2. Plantio Direto Compactado (PDC): neste tratamento parcelas foram compactadas utilizando-se um trator agrícola marca New Holland, modelo 75 TL com concha frontal, tendo uma massa total de 3700 kg e equipado com pneus traseiros marca Goodyear 18-4-30 e pneus dianteiros marca Pirelli 12-4-24;

3. Plantio Direto Escarificado um ano antes da semeadura (ESC1): para este tratamento realizou-se a escarificação do solo um ano antes da semeadura da cultura utilizando-se um escarificador de sete hastes distanciadas em 0,3 m uma da outra;

4. Plantio Direto Escarificado recentemente (ESC): neste tratamento as parcelas foram escarificadas com auxílio de um escarificador de sete hastes espaçadas 0,3m, dois meses antes da semeadura das culturas avaliadas.

Tabela 4- Umidade gravimétrica do solo no momento da aplicação dos tratamentos.

Camada (m)	Compactação	Escarificação 1	Escarificação 2
0,0 – 0,1	0,30	0,27	0,26
0,1 – 0,2	0,32	0,28	0,28
0,2 – 0,3	0,33	0,29	0,29

Obs: Compactação foi realizada no dia 06 de setembro de 2012; a primeira escarificação no dia 26 de outubro de 2012 e a segunda escarificação no dia 18 de outubro de 2013.

O delineamento experimental utilizado foi blocos ao acaso, com quatro tratamentos e quatro repetições, onde cada parcela tinha dimensões de 5 x 10 m. Para avaliar o efeito das condições de solo em plantas utilizou-se a cultura do milho, sendo esta semeada no dia 30 de novembro de 2013.

As determinações de densidade, porosidade, macroporosidade, microporosidade e condutividade hidráulica do solo saturado foram realizadas segundo os métodos descritos pela Embrapa (1997), onde coletou-se amostras de solo com estrutura preservada com auxílio de um anel metálico com volume aproximado de 102,07cm³ (diâmetro de 5,7cm e altura de 4cm) em quatro camadas de solo, sendo elas: 0-0,05 m, 0,05-0,01 m, 0,1-0,2 m, 0,2-0,3 m no final do ciclo da cultura. Após coletadas as amostras foram levadas ao laboratório, onde foram preparadas e após saturadas por capilaridade com água, pesadas e submetidas às tensões de -6 kPa em coluna de areia, conforme descrito por Reinert e Reichert, 2006 para determinações do volume de macro e microporos.

Para se determinar a densidade, porosidade total, macroporosidade e microporosidade do solo estudado, utilizou-se as equações descritas pela Embrapa (1997), que são apresentadas a seguir.

$$Ds(Mg\ m^{-3}) = \frac{\text{Massa do solo seco (Mg)}}{\text{Volume do anel (m}^3\text{)}} \quad 1$$

$$PT(m^3m^{-3}) = 1 - \left(\frac{\text{Densidade do solo (Mg m}^{-3}\text{)}}{\text{Densidade de partículas (Mg)}} \right) \quad 2$$

$$Mic(m^3m^{-3}) = \frac{(\text{Massa do solo a-60cm}-\text{massa do solo seco})}{\text{volume do anel}} \quad 3$$

$$\mathbf{Mac}(m^3m^{-3}) = \text{Porosidade Total} - \text{Microporosidade} \quad 4$$

A determinação de condutividade hidráulica do solo foi realizada utilizando amostras indeformadas de solo com um sobre anel para formar uma carga hidráulica. A carga hidráulica foram mantida constante manualmente e o volume de água percolado pelas amostras foi coletado a cada 5min, sendo realizadas três repetições por amostra de solo. A condutividade hidráulica foi determinada através da equação a apresentada por Embrapa (1997), apresentada abaixo:

$$\mathbf{Ksat}(mmh^{-1}) = \frac{Q \times L}{A \times H \times t} \quad 5$$

Onde:

Q = volume percolado (ml);

L = altura do bloco de solo (cm);

H = altura do bloco do solo e da coluna de água (cm);

A = área do cilindro (cm²);

t = tempo (horas);

A infiltração de água no solo foi medida com um infiltrômetro em anel. O anel interno possuía dimensões de 0,20 m de diâmetro e 0,20 m de altura e o anel externo 0,40 m de diâmetro e 0,25 m de altura. Ambos foram enterrados 0,1 m no solo. Para a medida da lâmina de água infiltrada foi utilizado um infiltrômetro construído com tubos de PVC e as leituras realizadas a cada 5 minutos, sendo mantida uma lâmina constante de 5 cm no anel interno. A avaliação foi realizada no período vegetativo da cultura avaliada e a avaliação realizada em três parcelas de cada tratamento e os dados obtidos ajustados ao modelo de Kostiakov para determinação da capacidade de infiltração do solo.

Para a determinação de resistência do solo a penetração utilizou-se um penetrômetro portátil marca Falker, modelo PLG 1020. A avaliação foi realizada em três locais de cada parcela, sendo eles nas entrelinhas e na linha das culturas, no período de enchimento de grãos das culturas.

Tabela 5- Umidade gravimétrica do solo ao ser realizada a resistência do solo à penetração, Cerro Largo, RS.

Camada	ESC	ESC1	PD	PDC
0,0 – 0,1	0,25	0,24	0,20	0,24
0,1 – 0,2	0,25	0,23	0,20	0,25
0,2 – 0,3	0,26	0,24	0,21	0,27

OBS: A resistência do solo à penetração foi realizada no dia 25 de fevereiro de 2014.

O armazenamento de água no solo foi determinado através de coletas de solo para determinação da umidade gravimétrica. As coletas foram realizadas com auxílio de um trado holandês, durante todo o ciclo da cultura, em períodos próximos a sete dias. Os valores de umidade gravimétrica foram transformados em umidade volumétrica e o armazenamento total de água no solo calculada pelas equações abaixo:

$$\text{Umidade volumétrica (m}^3\text{m}^{-3}\text{)} = U_g (\text{g g}^{-1}) \times D_s (\text{Mg m}^{-3}) \quad 6$$

$$\text{Armazenamento (mm camada}^{-1}\text{)} = U_v (\text{cm}^3\text{cm}^{-3}) \times \text{camada (mm)} \quad 7$$

Para determinação do ponto de murcha permanente (PMP) e da capacidade de campo (CC) para o solo avaliado, utilizou-se a equação descrita por Kaiser et al (2009), onde:

$$\text{CC (m}^3\text{m}^{-3}\text{)} = 0,2494 + 0,1222 D_s \quad 7$$

$$\text{PMP (m}^3\text{m}^{-3}\text{)} = 0,04513 + 0,19819 D_s \quad 8$$

A densidade máxima do solo foi determinada através da equação descrita por Marcolin e Klein (2011). A equação está descrita abaixo:

$$D_{s_{\max}} = 2,03133855 - 0,00320878 \text{ MO} - 0,00076508 \text{ argila} \quad 9$$

A densidade relativa foi calculada através da fórmula abaixo:

$$D_{S_{\text{relativa}}} = \frac{\text{Densidade do solo}}{\text{Densidade máxima do solo}}$$

A produtividade das culturas foi determinada através da colheita de uma área de 12,5 m² em cada parcela e os grãos colhidos no estágio de maturação fisiológica com 32% de umidade. Os grãos foram debulhados manualmente, pesados e a umidade ajustada a 13%. No momento da pesagem dos grãos foi retirada uma amostra dos grãos para determinação da umidade dos grãos no momento da pesagem. A produtividade calculada em kg, sendo que os valores de massa extrapolados para kg ha⁻¹.

Foram separados duas amostras contendo 100 grãos de cada parcela para a determinação da massa de 1.000 grãos. A massa de 100 grãos foi multiplicada por 10 para se obter a massa de 1.000 grãos e a umidade ajustada para 13 % .

O sistema radicular das plantas foi avaliado no final do ciclo da cultura através da abertura de uma trincheira com dimensões de 0,5 m de profundidade, 1 m de comprimento e 0,5 m de largura. Realizou-se a exposição do sistema radicular de duas plantas em cada parcela, sendo realizadas três repetições. Para a descrição das raízes, utilizou-se uma malha de 0,05 x 0,05 m, colocada em frente às raízes expostas e realizadas fotografias para posterior desenho das raízes em laboratório.

Os dados gerados foram submetidos à análise de variância pelo teste F e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro. Os dados de infiltração de água foram ajustados através do modelo de Kostikov.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 DENSIDADE, POROSIDADES E CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA DO SOLO

A densidade do solo na cultura avaliada diferiu apenas entre os tratamentos PD e ESC (**Tabela 6**). O tratamento ESC apresentou a menor densidade na camada e 0 a 0,2 m de profundidade. A menor densidade observada nesta camada deve-se ao efeito do escarificador, o qual promove a desestruturação do solo e o rompimento da camada compactada, reduzindo a densidade do solo. A escarificação mecânica tem sido sugerida para aliviar a compactação do solo em áreas de semedura direta, pois reduz a densidade do solo e melhora a condutividade hidráulica e a taxa de infiltração de água (CÂMARA E KLEIN, 2005).

Tabela 6 - Densidade do solo (Mg m^{-3}) em sistemas de preparo e manejo do solo em um Latossolo Vermelho, Cerro Largo, RS.

Camada (m)	ESC		ESC1		PD		PDC		CV (%)
0 - 0,05	1,07	B	1,11	AB	1,22	A	1,16	AB	8,91
0,05 - 0,10	1,18	B	1,28	AB	1,37	A	1,31	AB	9,04
0,10 - 0,20	1,24	B	1,37	A	1,38	A	1,35	AB	6,67
0,20 - 0,30	1,34	A	1,33	A	1,35	A	1,37	A	4,31

* Obs: Médias seguidas de mesma letra na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro. Tratamentos: ESC - plantio direto escarificado recentemente e ESC1 - plantio direto escarificado um ano antes da semeadura; PD - plantio direto; PDC - plantio direto compactado.

O tratamento PD apresentou as maiores densidades na camada de 0 a 0,20 m de profundidade, diferindo do tratamento ESC. Valores superiores de densidade podem indicar que neste manejo de solo pode ocorrer uma camada compactada a qual poderá causar danos de produção as culturas, sendo mais perceptível na camada de 0,05 a 0,20 m de profundidade.

Os tratamentos PDC e ESC1 não diferiram dos demais. O tratamento PDC apresentou valores absolutos inferiores ao tratamento PD. Isso ocorreu devido a compactação do solo ter sido realizada um ano antes da semeadura das culturas avaliadas, demonstrando que o solo possui uma capacidade de resiliência, visto que no primeiro ano de avaliação a densidade do solo na camada de 0 a 10 cm era de $1,35 \text{ Mg m}^{-3}$ e na camada de 10 a 20 de cm $1,43 \text{ Mg m}^{-3}$. Este efeito pode ser, até

certo ponto, explicado pelo sistema radicular das culturas utilizadas no experimento, onde utilizou-se gramíneas como milho e aveia antes da implantação da cultura avaliada e ao mecanismo sulcador tipo facão utilizado na semeadora.

Veiga (2005), avaliando sistemas de preparo do solo concluiu que áreas com plantio direto apresentaram maior densidade e menor macroporosidade e porosidade total do solo logo após as operações de preparo e semeadura, porém com o passar do tempo a diferença entre os tratamentos reduziram.

Conforme Seco et al (2009), as maiores densidades e resistências a penetração em Latossolos sob plantio direto ocorrem na camada de 0,07m a 0,12m de profundidade. Conforme Streck et al. 2004 e Brandt, 2005, a camada compactada se encontra próximo aos 10 cm de profundidade no plantio direto. Estes valores são próximos aos encontrados no experimento, visto que no tratamento plantio direto os maiores valores de densidade ocorreram na camada de 0,1 a 0,2 m de profundidade.

Menores valores de densidade observados após a escarificação corroboram com outros autores, como Nunes (2014), Secco et al (2009) e Klein e Camara (2007) que avaliando o efeito da escarificação do solo também encontrou diminuição da densidade e aumento da porosidade do solo após a escarificação do solo.

Os valores de densidade estão abaixo do que Secco (2003) e Collares (2005) citam como valores (1,62 e 1,53 Mg m⁻³ respectivamente) que podem trazer prejuízos ao desenvolvimento das plantas para um solo com características semelhantes ao avaliado.

A porosidade total do solo nos tratamentos avaliados diferiu nas três primeiras camadas avaliadas entre os tratamentos ESC e PD (**Tabela 7**). No tratamento ESC, ocorreram os maiores valores de porosidade total na camada de 0 - 0,1 m. Isto ocorre devido a desestruturação do solo ocasionada pelas hastes do escarificador, ocasionando maior porosidade total do solo. No tratamento PD observa-se a menor porosidade total na camada de 0 a 0,1 m de profundidade, indicando que esta pode ser uma camada de impedimento a infiltração de água no solo e a de aeração do solo. No tratamento PDC e ESC1, têm-se valores intermediários aos demais tratamentos.

Tabela 7 - Porosidade total solo ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$) em sistemas de preparo e manejo do solo em um Latossolo Vermelho, Cerro Largo, RS.

Camada (m)	ESC	ESC1	PD	PDC	CV (%)
0 - 0,05	0,62 A	0,60 AB	0,56 B	0,58 AB	6,25
0,05 - 0,10	0,58 A	0,54 AB	0,51 B	0,54 AB	7,54
0,10 - 0,20	0,56 A	0,51 B	0,51 B	0,52 AB	5,92
0,20 - 0,30	0,53 A	0,53 A	0,52 A	0,51 A	4,07

* Obs: Médias seguidas de mesma letra na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro. Tratamentos: ESCR - plantio direto escarificado recentemente e ESC1 - plantio direto escarificado um ano antes da semeadura; PD - plantio direto; PDC - plantio direto compactado.

O tratamento PD apresentou os maiores valores de microporosidade, não diferindo do tratamento PDC, porém diferiu do tratamento ESC, que apresentou os menores valores de microporosidade na camada de 0 a 0,1 m.

Nas demais camadas não ocorreram diferenças na microporosidade entre os tratamentos. Maior microporosidade observada nos tratamentos PD e PDC, na camada de 0 a 0,1 m, podem indicar maior armazenamento de água no solo, porém pode ter água armazenada não disponível às plantas, visto que a água pode estar retida com potencial que as plantas não conseguem absorver a água. Menores valores de microporosidade observados no tratamento ESC deve-se a desestruturação do solo ocasionada pelas hastes do escarificador, sendo que este apresentou eficiência até 0,2 m de profundidade. Após um ano da escarificação (ESC1), os valores de microporosidade ficam intermediários aos tratamentos ESC, PD e PDC. Nas demais camadas avaliadas não ocorreram diferença entre os tratamentos avaliados (**Tabela 8**).

Tabela 8 - Microporosidade do solo ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$) em sistemas de preparo e manejo do solo em um Latossolo Vermelho, Cerro Largo, RS .

Camada (m)	ESC	ESC1	PD	PDC	CV (%)
0 - 0,05	0,34 B	0,36 AB	0,39 A	0,38 A	5,99
0,05 - 0,10	0,36 B	0,38 AB	0,40 A	0,40 A	4,65
0,10 - 0,20	0,38 A	0,41 A	0,41 A	0,39 A	5,59
0,20 - 0,30	0,42 A	0,42 A	0,42 A	0,41 A	4,29

* Obs: Médias seguidas de mesma letra na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro. Tratamentos: ESCR - plantio direto escarificado recentemente e ESC1 - plantio direto escarificado um ano antes da semeadura; PD - plantio direto; PDC - plantio direto compactado.

Nas demais camadas não ocorreu diferença entre os tratamentos, Silva e Kay (1997) atribuem o fato de a microporosidade do solo ser fortemente influenciada pela textura e teor de carbono orgânico e muito pouco influenciada pelo aumento da densidade do solo originada do tráfego de máquinas, implementos e outros sobre o solo, justificando, dessa forma, a ausência de resposta neste estudo.

A macroporosidade diferiu entre os tratamento PDC e ESC (**Tabela 9**). O tratamento ESC apresentou os maiores valores de macroporosidade, diferindo do tratamento PD, indicando que a escarificação aumenta a macroporosidade do solo, devido, a ação rompedora das hastes no solo, ocasionando a desestruturação do solo e conseqüente aumento da macroporosidade e redução da densidade (REICHERT et al, 2007) .

Os tratamentos ESC1 e PDC apresentaram valores de macroporosidade intermediários ao demais tratamentos, não diferindo destes. A camada de 0,2 a 0,3 m apresentou os menores valores de macroporosidade, isto se deve ao menor crescimento radicular e atividade biológica, principalmente de insetos que constroem galerias no solo estar situada até 0,2 m de profundidade. A porosidade total observada em todas as camadas e em todos os tratamentos não é limitante para o crescimento e desenvolvimento das culturas, visto que, segundo Baver (1972), solo com macroporosidade acima de $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ não restringem ou prejudicam o desenvolvimento das plantas.

Tabela 9 - Macroporosidade do solo ($\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$) em sistemas de preparo e manejo do solo em um Latossolo Vermelho, Cerro Largo, RS .

Camada (m)	ESC	ESC1	PD	PDC	CV (%)
0 - 0,05	0,28 A	0,24 AB	0,17 B	0,20 AB	24,43
0,05 - 0,10	0,22 A	0,16 AB	0,11 B	0,14 AB	37,65
0,10 - 0,20	0,18 A	0,10 B	0,10 B	0,13 AB	39,73
0,20 - 0,30	0,11 A	0,11 A	0,10 A	0,10 A	31,62

* Obs: Médias seguidas de mesma letra na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro. Tratamentos: ESCR - plantio direto escarificado recentemente e ESC1 - plantio direto escarificado um ano antes da semeadura; PD - plantio direto; PDC - plantio direto compactado.

Um decréscimo da macroporosidade com aumento da densidade foi verificado em um Latossolo Vermelho distroférico típico com 680 g kg^{-1} de argila (GENRO JUNIOR, 2002) e um aumento na densidade do solo acarretou maiores

valores de microporosidade e menores de macroporosidade em um Latossolo Vermelho distroférico com 427 g kg⁻¹ de argila (SECCO et al., 2004).

A condutividade hidráulica saturada é uma propriedade dinâmica do solo e o seu comportamento é determinado pelo grau de compactação que o solo apresenta (REICHERT et al., 2007) e pela quantidade e continuidade dos poros, principalmente macroporos (MESQUITA e MORAES, 2004).

O manejo do solo e o tráfego de máquinas agrícolas alteram as características do sistema poroso e a condutividade hidráulica. Quando o solo é revolvido, sua estrutura é alterada, e um novo sistema poroso é formado, normalmente com poros maiores desconectados e em grande quantidade. O solo mantido sob semeadura direta apresenta o sistema poroso estável e contínuo, devido à maior atividade biológica e a ciclagem de raízes (KAISER, 2010).

A condutividade hidráulica do solo saturado (**Tabela 10**) diferiu na camada de 0 – 0,1 m e na camada de 0,2 - 0,3 m entre os tratamentos ESC e PD. O tratamento ESC apresentou os maiores valores de condutividade hidráulica na camada de 0 a 0,1 m, diferindo do tratamento PD e PDC. Maior condutividade hidráulica encontrada nesta camada pode ser explicada pelo revolvimento do solo, o qual altera a sua estrutura e forma um novo sistema poroso, com poros maiores desconectados e em grande quantidade, o que faz que na camada superficial os tratamentos ESCR e ESC1 tenham maior condutividade hidráulica. O tratamento PD apresentou os menores valores de condutividade hidráulica entre os tratamentos avaliados, possivelmente pela maior densidade e menor macroporosidade do solo deste tratamento.

Tabela 10 - Condutividade hidráulica do solo saturado (mm h⁻¹) em sistemas de preparo e manejo do solo em um Latossolo Vermelho, Cerro Largo, RS .

Camada (m)	ESC	ESC1	PD	PDC	CV (%)
0 - 0,05	598,1 A	390,2 AB	60,8 C	175,7 BC	114,4
0,05 - 0,10	460,1 A	49,6 AB	39,6 B	118,8 AB	220
0,10 - 0,20	424,3 A	45,3 A	26,7 A	34,2 A	196
0,20 - 0,30	15,1 AB	31,9 A	11,0 B	26,6 AB	192

* Obs: Médias seguidas de mesma letra na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro. Tratamentos: ESCR - plantio direto escarificado recentemente e ESC1 - plantio direto escarificado um ano antes da semeadura; PD - plantio direto; PDC - plantio direto compactado.

A condutividade hidráulica do solo saturado, de modo geral, apresenta alta variabilidade dos dados, acusando elevado coeficiente de variação (SILVA, 2003). Lima et al. (2006) obtiveram, para condutividade hidráulica do solo saturado em laboratório, um coeficiente de variação entre 111,5 e 247,9 %. Genro Junior (2002) e Abreu et al. (2004) obtiveram, respectivamente, um coeficiente de variação de 104 % e 52,8 % para a condutividade hidráulica do solo saturado obtida no campo.

4.2 DENSIDADE MÁXIMA E DENSIDADE RELATIVA DO SOLO

A densidade máxima do solo determinada através da equação descrita por Marcolin e Klein (2011) está apresentada na **Tabela 11**. A densidade máxima é estimada através da matéria orgânica do solo e do teor de argila que o solo apresenta. Para um solo argiloso (660 g kg⁻¹ argila), Klein (2008) encontrou $D_{s_{\max}}$ de 1,55 Mg m⁻³, enquanto que, num solo arenoso (320 g kg⁻¹ argila), de 1,77 Mg m⁻³.

Tabela 11 - Densidade máxima do solo (Mg m⁻³) em sistemas de preparo e manejo do solo em um Latossolo Vermelho, Cerro Largo, RS.

Camada (m)	Matéria Orgânica ----- g kg ⁻¹ -----	Argila	$D_{s_{\max}}$ Mg m ⁻³
0 - 0,05	33	562,75	1,49
0,05 - 0,10	23	558,72	1,53
0,10 - 0,20	23	595,19	1,50
0,20 - 0,30	23	616,24	1,49

A densidade relativa do solo diferiu entre os tratamentos PD e ESC nas três primeiras camadas avaliadas (**Tabela 12**). O tratamento ESC apresentou os menores valores de densidade relativa, diferindo do tratamento PD, nas camadas de 0 a 0,2 m de profundidade. O Menor valor de densidade relativa ocorrido em ESC deve-se aos menores valores de densidade ocorridas neste tratamento comparando com os demais tratamentos. Os maiores valores de densidade relativa observados no tratamento PD deve-se aos maiores valores de densidade obtidos no tratamento.

Tabela 12 - Densidade relativa do solo em sistemas de preparo e manejo do solo em um Latossolo Vermelho, Cerro Largo, RS.

Camada (m)	ESC	ESC1	PD	PDC
0 - 0,05	0,71 B	0,74 AB	0,81 A	0,77 AB
0,05 - 0,10	0,77 B	0,83 AB	0,89 A	0,85 AB
0,10 - 0,20	0,82 B	0,91 A	0,92 A	0,90 AB
0,20 - 0,30	0,90 A	0,89 A	0,91 A	0,92 A

* Obs: Médias seguidas de mesma letra na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro. Tratamentos: ESCR - plantio direto escarificado recentemente e ESC1 - plantio direto escarificado um ano antes da semeadura; PD - plantio direto; PDC - plantio direto compactado.

A expressão da relação entre densidade atual do solo e a densidade máxima tem-se mostrado útil na caracterização da compactação do solo e resposta das culturas em diferentes tipos de solo (SUZUKI et al., 2007).

Segundo Suzuki et al (2007) o alto grau de compactação pode reduzir a porosidade do solo, diminuindo sua aeração e aumentando a densidade e a resistência do solo à penetração, dificultando o crescimento radicular. Por outro lado, um grau de compactação muito baixo pode ser indicativo de um solo sem estrutura, comprometendo a retenção de água e o contato solo-semente na semeadura. De modo geral, o crescimento da cultura é afetado adversamente pela compactação do solo; contudo, a máxima produção não será obtida em um solo após seu revolvimento, pois o solo estará muito solto.

Estudos têm sido realizados, visando-se determinar a DR ótima, ou limitante, ao pleno desenvolvimento e máximo rendimento das culturas (MARCOLIN e KLEIN, 2011).

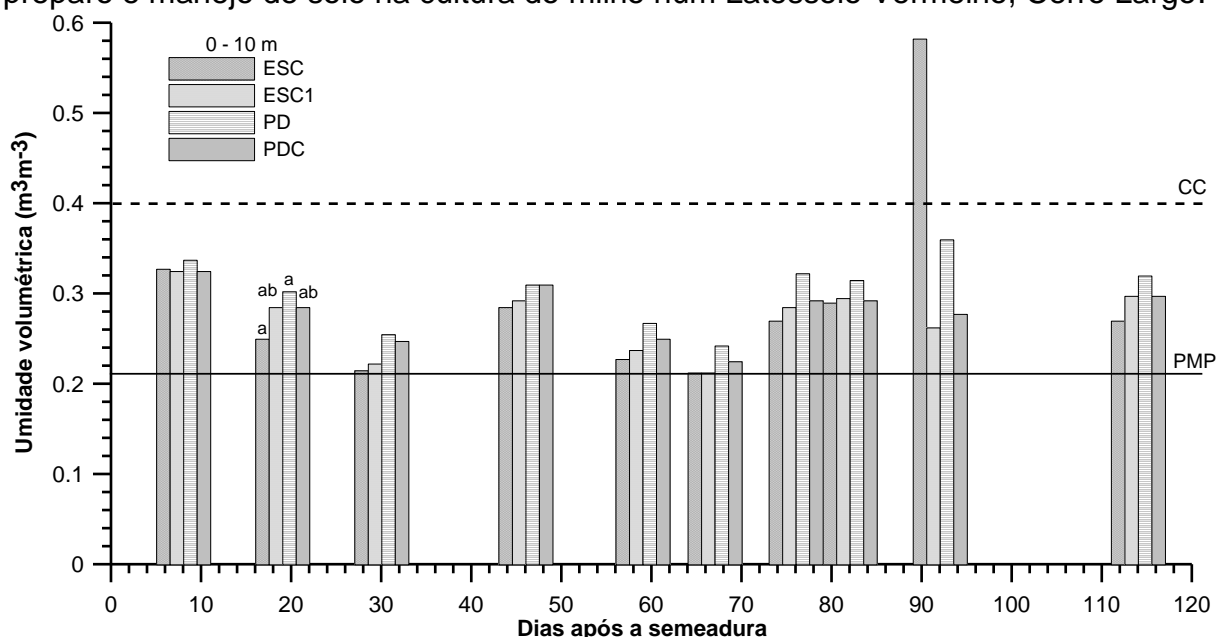
4.3 UMIDADE VOLUMÉTRICA E ARMAZENAMENTO DE ÁGUA NO SOLO NA CULTURA DO MILHO

A umidade volumétrica do solo, parâmetro este utilizado para a determinação do armazenamento de água no solo é apresentada nas figuras 2, 3 e 4. Na figura 2 são apresentados os valores de umidade volumétrica de cada coleta realizada após a semeadura da cultura do milho na camada de 0 a 0,1 m. Observa-se que aos 30 e aos 67 dias após a semeadura (DAS) da cultura, a umidade volumétrica do solo, no

tratamento ESC, encontra-se próximo ao ponto de murcha permanente estimado para o solo avaliado, ponto este que as plantas não conseguem absorver água do solo e seu desenvolvimento é prejudicado. Nas demais datas que foram realizadas coletas, a umidade volumétrica do solo esteve entre a capacidade de campo (CC) e o ponto de murcha permanente (PMP) estimados para o solo onde se realizaram as avaliações.

O tratamento PD, na maioria das avaliações, apresentou os maiores valores de umidade volumétrica do solo na camada superficial, o que pode ocorrer devido a maior quantidade de palha na superfície do solo, o que faz com que o solo retenha mais umidade, pois ocorre menor aquecimento do solo e pela menor macroporosidade encontrada neste manejo. O tratamento ESC, na maioria das coletas realizadas, apresentou menores valores de umidade volumétrica, o que pode ser explicado pela maior macroporosidade encontrada neste tratamento e na menor quantidade de palha na superfície do solo.

Figura 2- Umidade volumétrica do solo, camada de 0 a 0,1 m, em sistemas de preparo e manejo de solo na cultura do milho num Latossolo Vermelho, Cerro Largo.



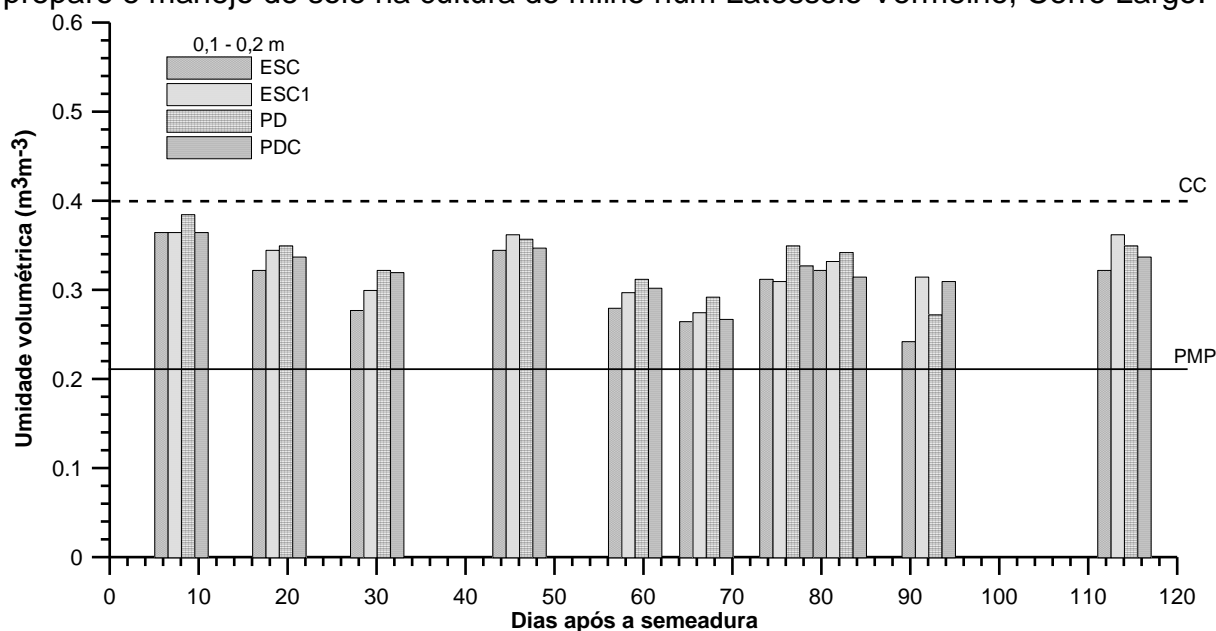
Obs: Médias não seguidas por letras não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro. Médias seguidas por letras diferentes diferem entre si, por camada, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro. Tratamentos: ESCR - plantio direto escarificado recentemente e ESC1 - plantio direto escarificado um ano antes da semeadura; PD - plantio direto; PDC - plantio direto compactado.

O aumento na umidade volumétrica em cada camada está associado à entrada de água da chuva e pela redistribuição no perfil, enquanto que a redução na água disponível esta associada à taxa de extração pelas raízes das plantas e pelas perdas por evaporação. A camada superficial do solo teve a maior variação e a

menor lâmina de água disponível armazenada no período, o que pode ser atribuído a maior extração de água pelas raízes e as maiores perdas por evapotranspiração que ocorrem, principalmente, na superfície do solo.

A umidade volumétrica na camada de 0,1 a 0,2 m é apresentada na Figura 3. Nesta camada a umidade volumétrica do solo esteve entre a CC e o PMP em todas as datas que foram realizadas coletas de solo. Isto indica que ao longo do ciclo das culturas, na camada de 0,1 a 0,2 m, em todos os tratamentos avaliados, as plantas tinham água possível de ser absorvida. Na maioria das avaliações, o manejo PD apresentou maior umidade volumétrica entre os tratamentos avaliados. Em todas as avaliações, o tratamento ESC apresentou os menores valores de umidade volumétrica do solo, indicando que neste tratamento, pode ocorrer maior perda de água para a atmosfera, devido a maior macroporosidade e a menor quantidade de palha na superfície do solo.

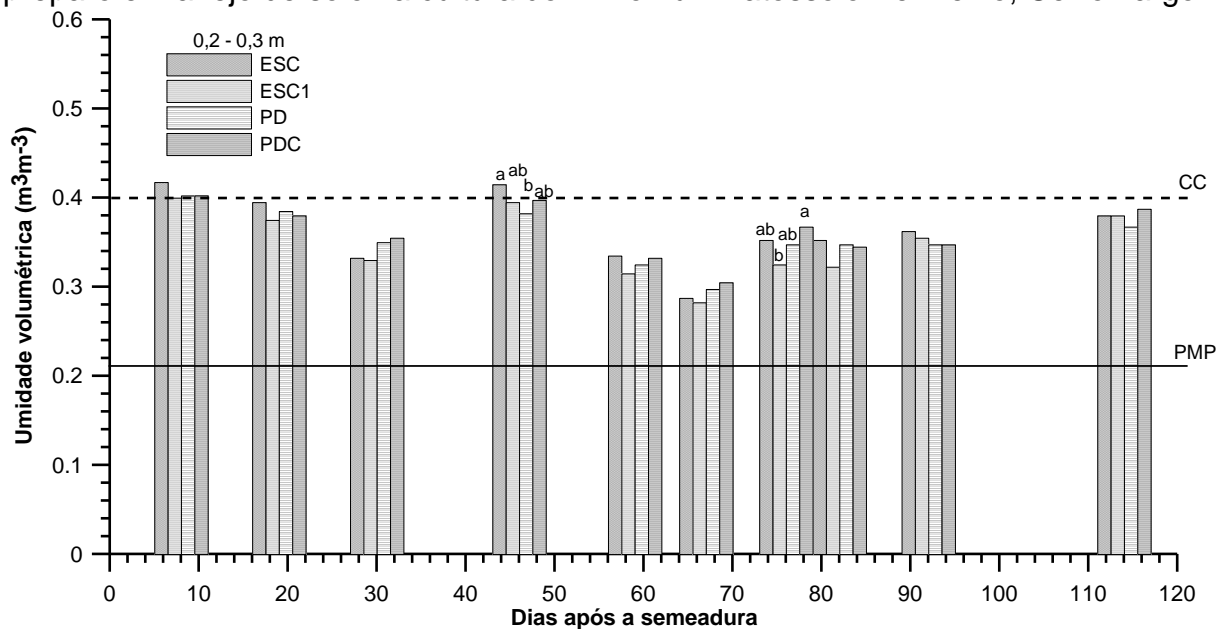
Figura 3 - Umidade volumétrica do solo, camada de 0,1 a 0,2 m, em sistemas de preparo e manejo de solo na cultura do milho num Latossolo Vermelho, Cerro Largo.



Obs: Médias não seguidas por letras não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro. Médias seguidas por letras diferentes diferem entre si, por camada, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro. Tratamentos: ESCR - plantio direto escarificado recentemente e ESC1 - plantio direto escarificado um ano antes da semeadura; PD - plantio direto; PDC - plantio direto compactado.

Na camada de 0,2 a 0,3 m (**Figura 4**), a umidade volumétrica foi maior que nas demais camadas avaliadas. Em algumas datas de coleta a umidade volumétrica esteve acima da capacidade de campo. O tratamento ESC apresentou as maiores valores de umidade volumétrica na maioria das avaliações nesta camada.

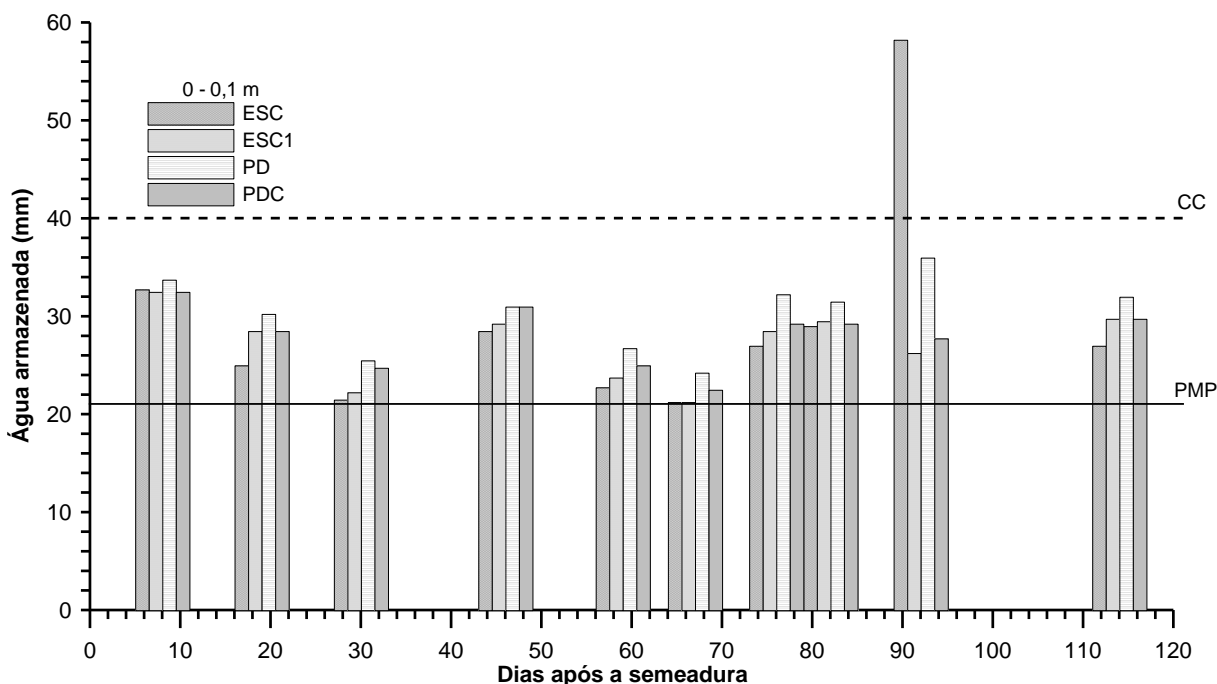
Figura 4 - Umidade volumétrica do solo, camada de 0,2 a 0,3 m, em sistemas de preparo e manejo de solo na cultura do milho num Latossolo Vermelho, Cerro Largo.



Obs: Médias não seguidas por letras não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro. Médias seguidas por letras diferentes diferem entre si, por camada, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro. Tratamentos: ESCR - plantio direto escarificado recentemente e ESC1 - plantio direto escarificado um ano antes da semeadura; PD - plantio direto; PDC - plantio direto compactado.

O armazenamento de água no solo na cultura do milho, na camada de 0 a 0,1 m (**Figura 5**), esteve sempre entre a capacidade de campo para o solo avaliado ($40 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$) e o ponto de murcha permanente ($21 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$) em todas as datas de semeadura. Os tratamentos ESC e ESC1 apresentaram armazenamento próximo ao PMP 30 e 67 DAS, e o tratamento PD apresentou maior armazenamento de água na maioria das datas em que se realizaram coletas.

Figura 5 - Armazenamento de água no solo, camada de 0 a 0,1 m, em sistemas de preparo e manejo de solo na cultura do milho num Latossolo Vermelho, Cerro Largo.



Silva (2003) também não observou diferença na quantidade total de água armazenada para níveis de compactação e escarificação para um Latossolo Vermelho argiloso.

A maior continuidade dos poros em plantio direto permite o rápido fluxo da água da chuva e mantém a funcionalidade das propriedades dinâmicas do solo (CAVALIERI et al., 2009), uma vez que a camada superficial do solo apresenta maior variação na quantidade e continuidade dos poros pela maior atividade biológica e decomposição de raízes e pelo maior revolvimento dessas camadas pelos mecanismos sulcadores das semeadoras, o que favorece a entrada e a preservação da água no solo e aumenta a quantidade de água armazenada neste tratamento.

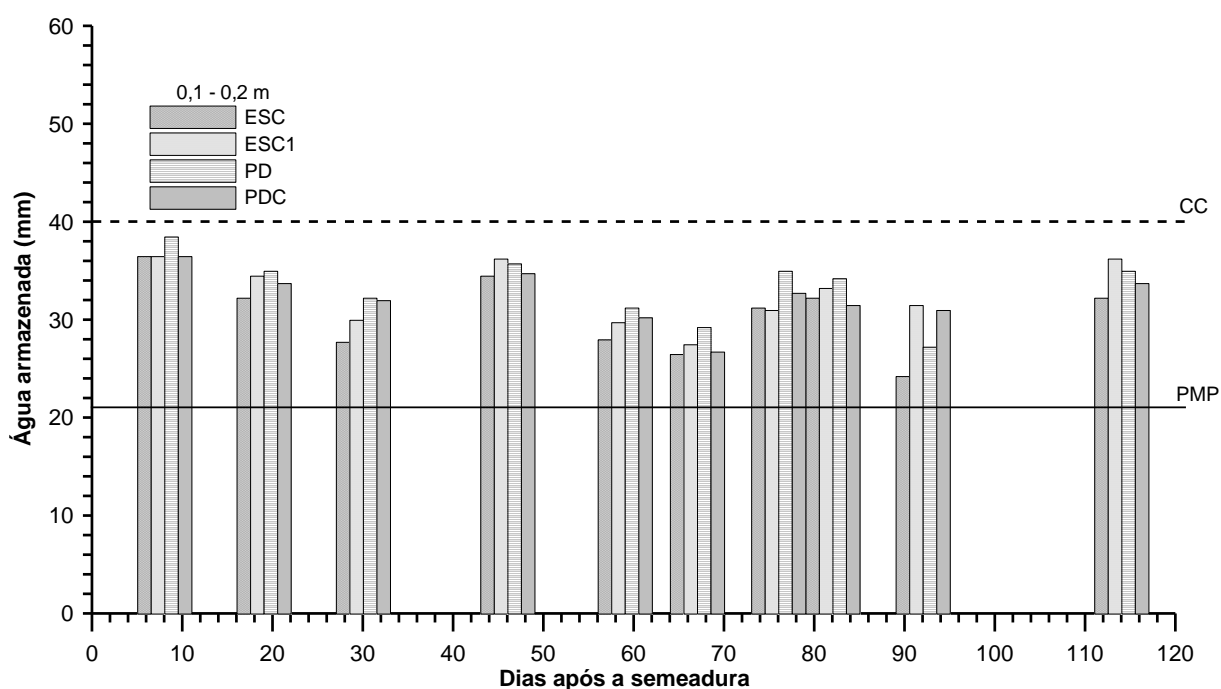
O revolvimento mecânico do solo cria condições físicas adequadas ao crescimento das raízes das plantas, mas destrói os bioporos e cria uma nova estrutura no solo, formada por agregados soltos, mantendo-se apenas os microporos no interior dos agregados intactos. A estrutura que se forma na camada revolvida é formada por espaços vazios entre os agregados, cujo formato e a conectividade são bastante irregulares, o que reduz a capacidade de retenção de água pelo solo (DALMAGO et al., 2009).

O revolvimento e a escarificação do solo não aumentaram a retenção e a disponibilidade de água para as plantas, o que mostra que essa técnica não é

eficiente para aumentar a disponibilidade de água, mesmo que ela eleve a taxa de infiltração de água no solo (CAMARA; KLEIN, 2005) e permita melhor crescimento das raízes das plantas (COLLARES et al., 2006) até 0,2 m de profundidade, profundidade esta que o escarificador teve eficiência.

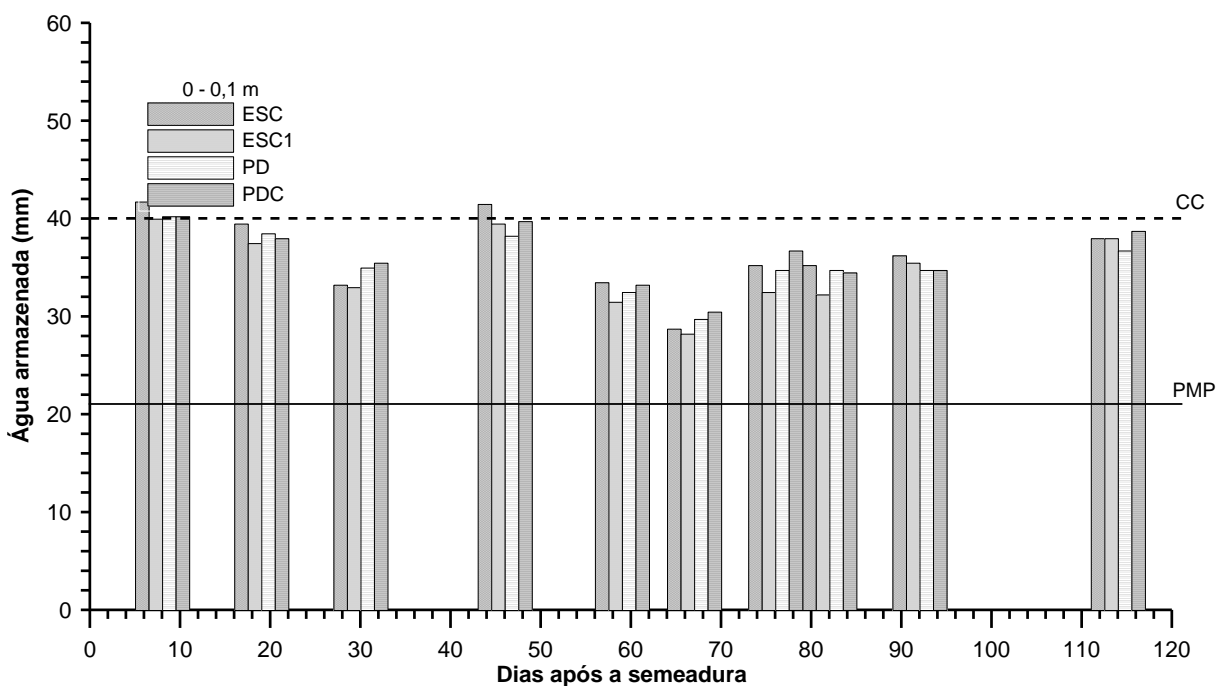
Na camada de 0,1 a 0,2 m de profundidade (**Figura 6**), o maior armazenamento ocorreu no tratamento PD na maioria das datas de avaliação. O maior armazenamento observado nesta camada deve-se a menores perdas de água para a superfície em relação a camada superficial.

Figura 6 - Armazenamento de água no solo, camada de 0,1 a 0,2 m, em sistemas de preparo e manejo de solo na cultura do milho num Latossolo Vermelho, Cerro Largo.



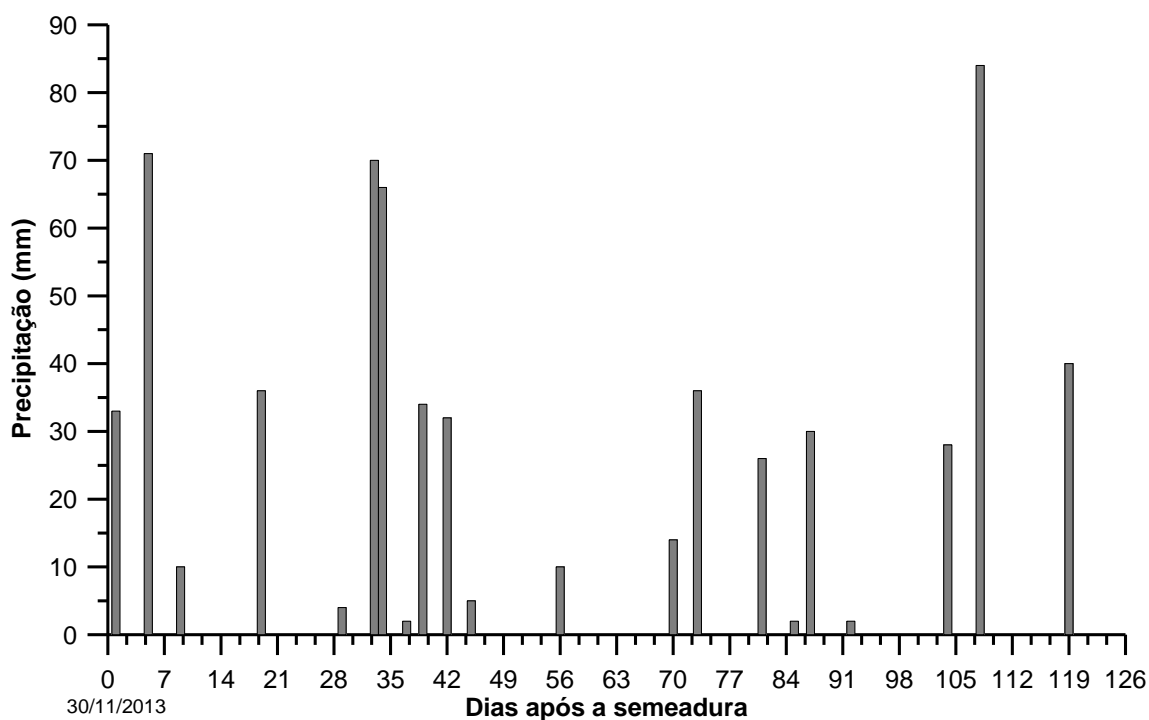
A camada de 0,2 a 0,3m (**Figura 7**) apresentou maior armazenamento de água, podendo ser fonte de água para as plantas em períodos de estiagens. Em algumas datas a água armazenada no tratamento ESC esteve acima da capacidade de campo do solo (8 e 46 DAS).

Figura 7 - Armazenamento de água no solo, camada de 0,2 a 0,3 m, em sistemas de preparo e manejo de solo na cultura do milho num Latossolo Vermelho, Cerro Largo.



A umidade volumétrica e a água armazenada aumentam com a ocorrência de precipitações. Isto é possível de se visualizar ao correlacionar a umidade do solo com a ocorrência de precipitações (**Figura 8**).

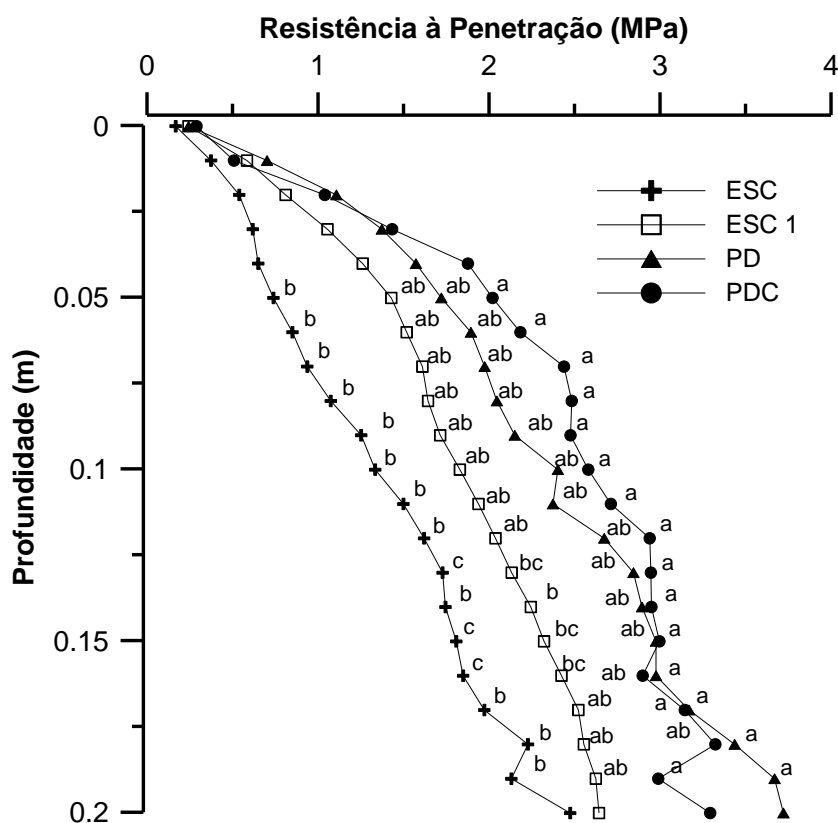
Figura 8 - Precipitação ocorrida em Cerro Largo, RS, no período de 01/12/2013 e 30 de março de 2014. Dados coletados na estação meteorológica automática da UFFS.



4.4 RESISTÊNCIA DO SOLO A PENETRAÇÃO E CRESCIMENTO RADICULAR DE PLANTAS DE MILHO

A resistência a penetração do solo, na cultura do milho, atingiu valores acima de 2 MPa, considerado como crítico ao crescimento radículas das plantas (DEBIASI et al., 2008). Entre os tratamentos avaliados, maiores resistências foram encontradas no tratamento PDC até 0,15 m de profundidade (**Figura 9**), o que pode ser explicado por este apresentar menor umidade em relação ao PD, visto que maiores densidades foram encontradas no tratamento PD nas camadas avaliadas. O tratamento PD apresentou valores de resistência a penetração menores que o tratamento PDC, porém maiores que os tratamentos ESC1 e ESC. Observa-se no tratamento ESC menor resistência até 0,2 m de profundidade, indicando que a escarificação foi eficiente até esta camada, reduzindo a resistência a penetração do solo.

Figura 9 - Resistência a penetração do solo em sistemas de preparo e manejo de solo na cultura do milho num Latossolo Vermelho, Cerro Largo, RS.



Obs: Médias não seguidas por letras não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro. Médias seguidas por letras diferentes diferem entre si, por camada, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Embora relatos tenham evidenciado a importância da resistência do solo à penetração, Abreu et al. (2004) dizem que nem sempre o limitante da produtividade das culturas é a resistência mecânica do solo, mas um conjunto de fatores, tais como: a própria resistência do solo à penetração de raízes, o espaço aéreo destinado às trocas gasosas e a quantidade de água disponível para as plantas (SILVA, 2003).

O sistema radicular percebe e integra todas as condições, no espaço e tempo, de modo semelhante à parte aérea das plantas, que está exposta a trocas constantes de ambiente, indicando claramente que estresses na parte aérea e sistema radicular são igualmente importantes (REICHERT et al., 2003). Nesse sentido, Suzuki (2005) afirma que a avaliação do sistema radicular, mesmo que apenas visual, é um bom indicativo da condição física do solo. Diversos são os fatores que causam crescimento deficiente do sistema radicular das plantas (CAMARGO e ALLEONI, 1997), incluindo danos causados por insetos e doenças, deficiência nutricional, acidez do solo, drenagem deficiente, temperatura e compactação do solo, acarretando esta última, ao causar restrições ao crescimento e desenvolvimento radicular, problemas que afetam, direta e indiretamente, a produção das plantas.

Ao avaliar o sistema radicular de plantas de milho, é possível perceber que o crescimento de raízes foi maior nos primeiros 20 cm de profundidade em todos os tratamentos (**Figura 9, 10, 11 e 12**). Isto se deve, possivelmente, a maior concentração de nutrientes nesta camada e ao rompimento do solo causado pelo sulcador da semeadora, além de abaixo desta profundidade haver uma camada com maior densidade do solo, o que pode ter dificultado o crescimento de raízes. Os tratamentos PD, ESC e ESC1 apresentaram um maior crescimento de raízes em profundidade e maior quantidade de raízes que o tratamento PDC. Os tratamentos ESC e ESC1 proporcionaram as plantas um maior número de raízes, porém, em profundidade, todos os tratamentos tiveram um crescimento de raízes até próximo os 50 cm.

Figura 10 - Distribuição do sistema radicular de plantas de milho no tratamento plantio direto. Cerro Largo, RS.

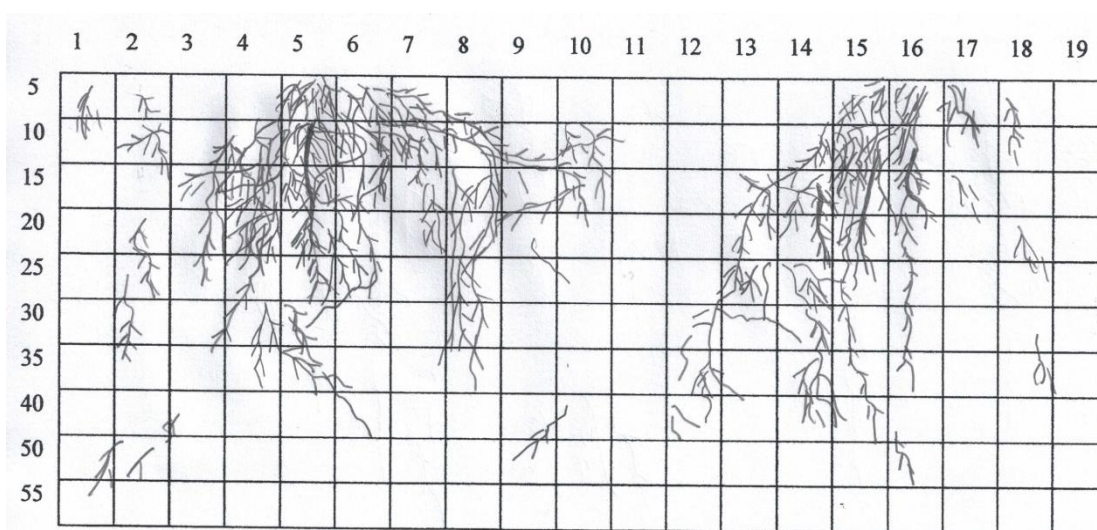


Figura 11 - Distribuição do sistema radicular de plantas de milho no tratamento escarificado. Cerro Largo, RS.

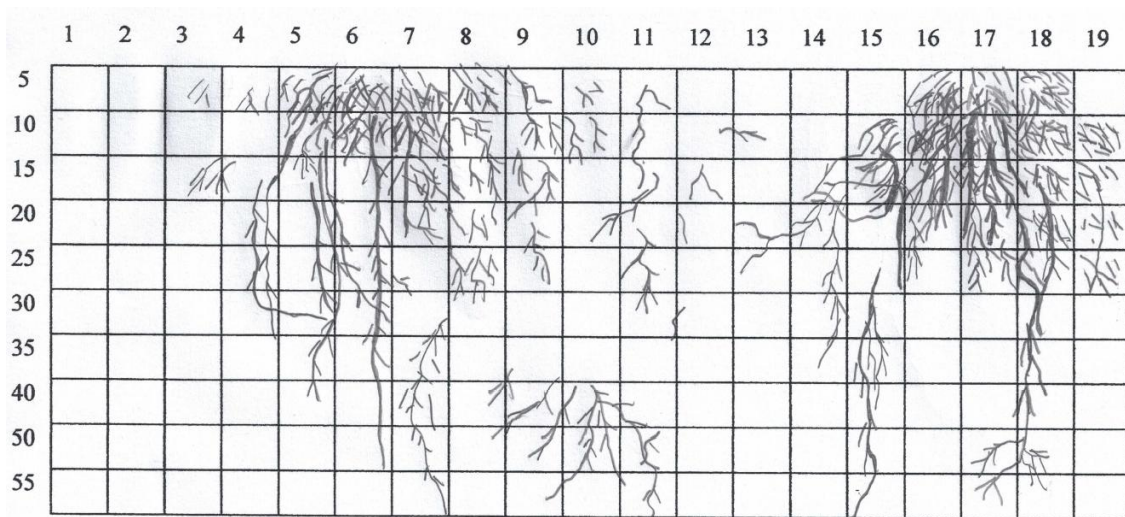


Figura 12 - Distribuição do sistema radicular de plantas de milho no tratamento plantio direto compactado. Cerro Largo, RS.

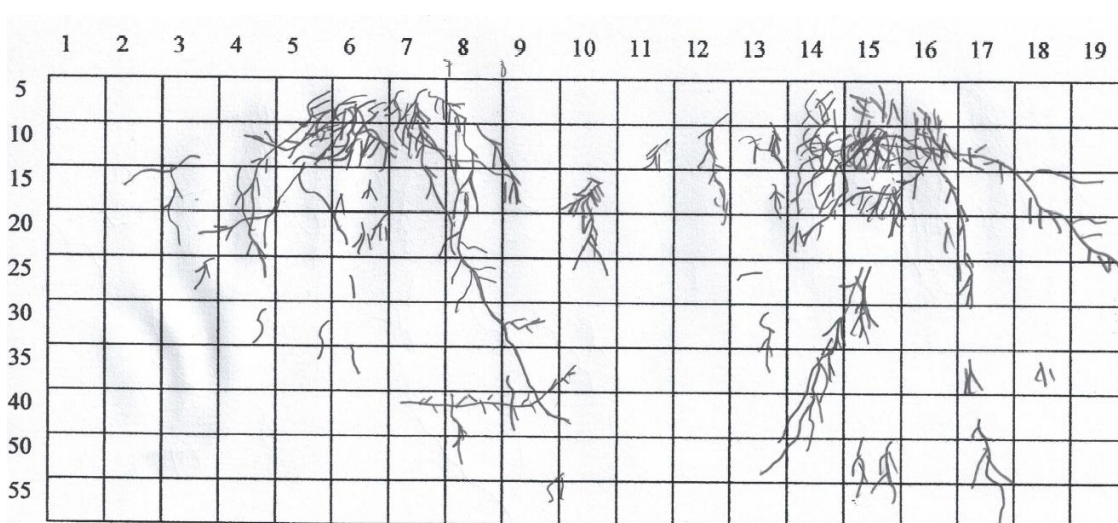
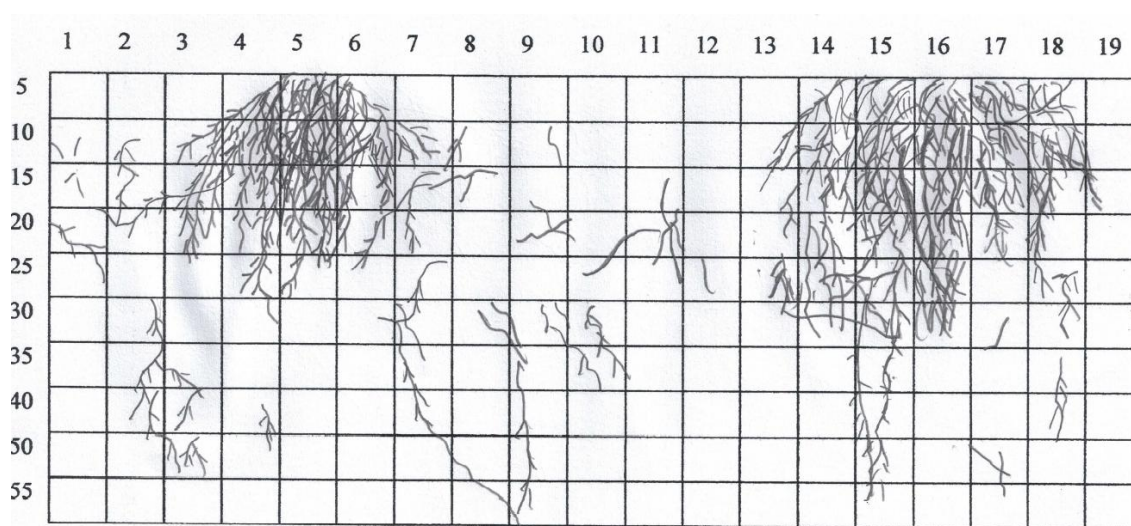


Figura 13 - Distribuição do sistema radicular de plantas de milho no tratamento escarificado 1 ano antes da semeadura. Cerro Largo, RS.



4.5 PRODUTIVIDADE DE GRÃOS E MASSA DE 1.000 GRÃOS

A produtividade das culturas é dependente de vários fatores, como propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, manejo dado à cultura, espécie de planta e fator climático. Alguns solos podem apresentar condições inadequadas,

mas uma condição climática e de precipitação adequada para as culturas pode minimizar esses efeitos (REICHERT et al,2007).

Ao avaliar a produtividade de milho (**Tabela 13**), não se verifica diferença entre os tratamentos avaliados. O tratamento PD apresentou a maior produtividade para a cultura de milho, indicando que os atributos físicos do solo avaliado não comprometeram o rendimento de grãos. A escarificação do solo reduz a produtividade da cultura, possivelmente, devido ao efeito da escarificação, onde ocorre uma maior mineralização da matéria orgânica do solo, maior perda de água por evaporação, por não possuir palha em superfície. A massa de 1.000 grãos foi maior no tratamento PDC, não diferindo dos demais tratamentos avaliados. O PD apresentou a menor massa de 1.000 grãos, porém maior produtividade deve ao fato das plantas possuir maior número de grãos por espiga.

Tabela 13 - Produtividade e massa de 1.000 grãos de milho em sistemas de preparo e manejo de solo num Latossolo argiloso em Cerro Largo, RS.

Tratamentos	Produtividade (kg ha ⁻¹)	CV (%)	Massa de 1.000 grãos (g)	CV (%)
ESCR	3.480 A	19,8	329 A	3,7
ESC1	3.242 A		334 A	
PDC	3.853 A		337 A	
PD	4.048 A		334 A	

Obs: Médias seguidas de mesma letra, na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro. Tratamentos: ESCR - plantio direto escarificado recentemente e ESC1 - plantio direto escarificado um ano antes da semeadura; PD - plantio direto; PDC - plantio direto compactado.

A escarificação, com o objetivo de aliviar a compactação do solo, e a compactação adicional, principalmente superficial, reduziram a produtividade das culturas da soja e milho em relação ao plantio direto há seis anos em um Latossolo Vermelho distroférico típico (SUZUKI, 2005), indicando a necessidade de um valor intermediário de compactação para favorecimento das culturas.

Baixa produtividade obtida na cultura deve-se ao fato de ocorrer veranicos associados a altas temperaturas (**Figura 10**) no período crítico da cultura, a fase de florescimento, que prejudicou a polinização e a fecundação (**Figura 11**). Estudando o efeito da alta temperatura na viabilidade do pólen, Herrero e Johnson (1980) observaram que a exposição prolongada a temperaturas acima de 32°C reduz a germinação do pólen, sendo que essa redução pode chegar a 100%.

Figura 14 - Temperaturas médias, máximas e precipitação ocorrida em Cerro Largo, RS, no período de 01/12/2013 e 30 de março de 2014. Dados coletados na estação meteorológica automática da UFFS.

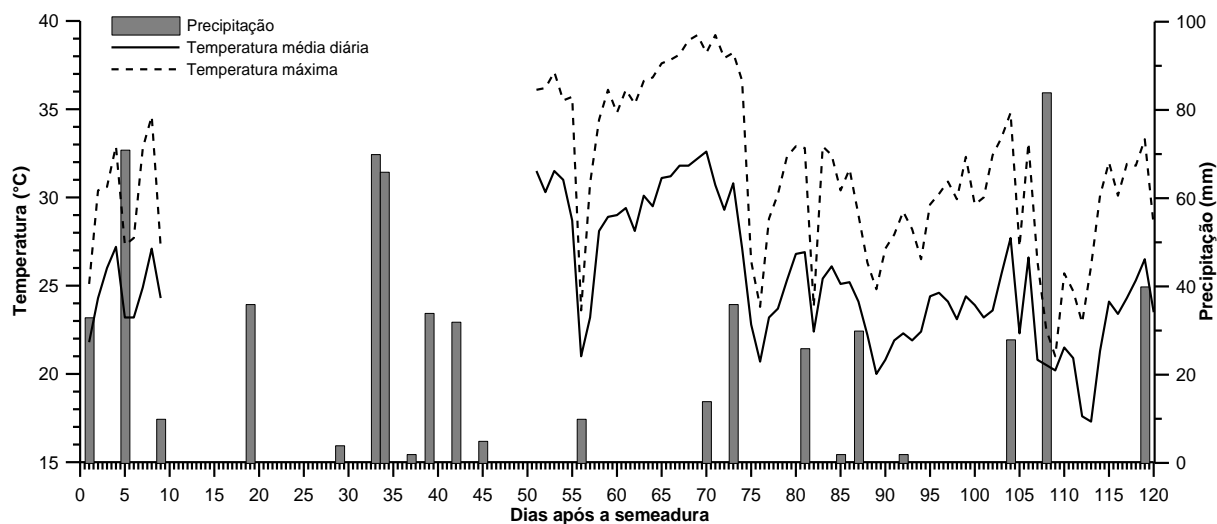
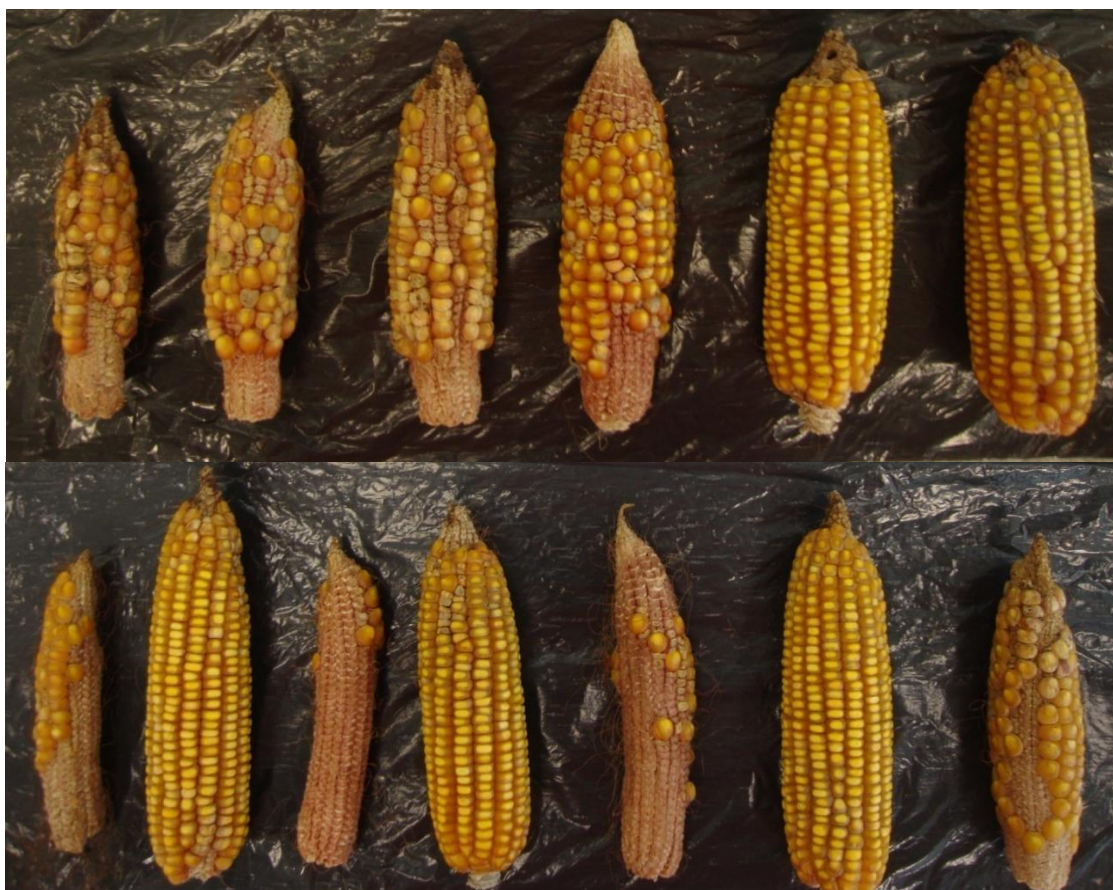


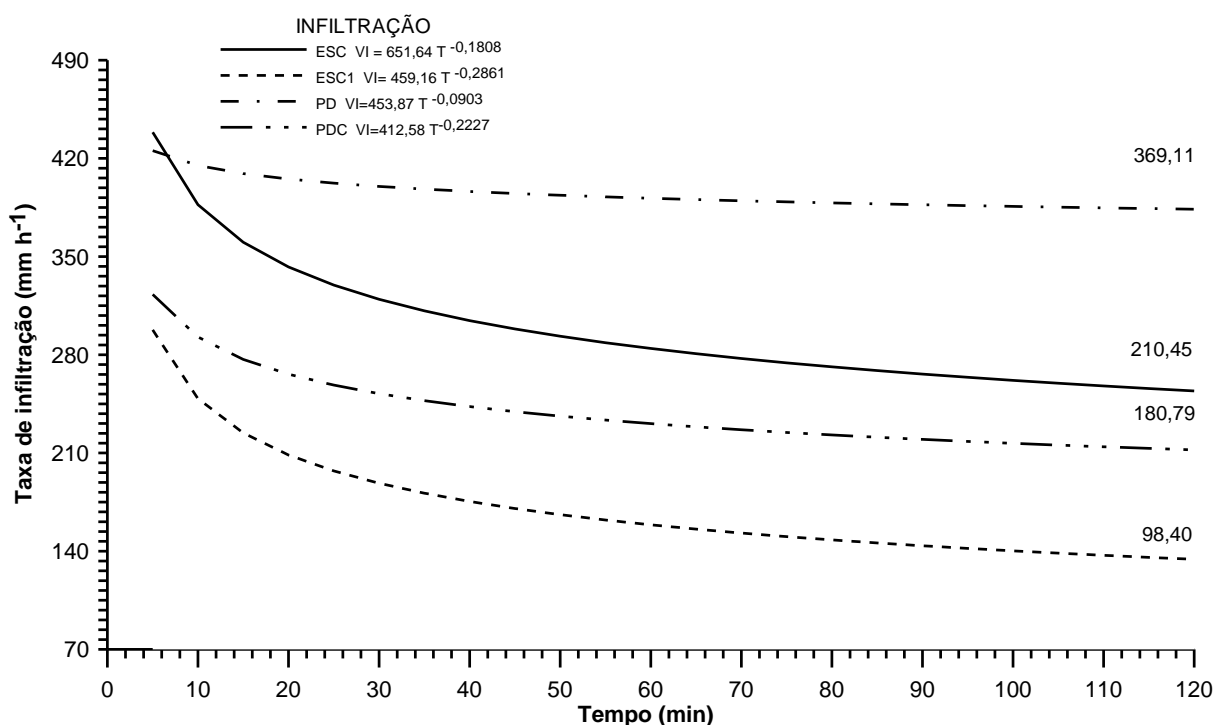
Figura 15 - Espigas de milho com problemas de fecundação devido a altas temperaturas ocorridas durante o período de polinização das plantas. Cerro Largo, RS, safra 2013/14.



4.6 INFILTRAÇÃO DE ÁGUA NO SOLO

A capacidade de infiltração de água no solo é apresentada na figura 16. A maior taxa de infiltração de água no solo foi observada no tratamento PD, seguido pelos tratamentos ESC, PDC e ESC1. Maior taxa de infiltração encontrada no tratamento pode ter sido pela maior atividade biológica que ocorre neste manejo, visto que os organismos do solo são responsáveis pela abertura de bioporos, o que aumenta a infiltração de água no solo.

Figura 16 - Taxa de infiltração de água em um Latossolo Vermelho em Cerro Largo, RS.



A escarificação do solo aumenta sua porosidade, porém com a escarificação a continuidade dos poros é quebrada, ocasionando em menor taxa de infiltração neste tratamento (KAISER, 2010). A maior taxa de infiltração observada no início das observações no tratamento ESC deve-se a desestruturação do solo ocasionada pelo escarificador, o que faz com que no início seja maior e também pela umidade no momento das avaliações, sendo que neste tratamento a umidade do solo tenha sido menor que os demais tratamentos. O tratamento PDC apresentou, assim como o ESC, valores intermediários de infiltração de água no solo e o tratamento ESC 1 os menores valores de infiltração.

Resultados semelhantes foram encontrados por Sobrinho et al (2003), que avaliando a infiltração de água no solo em sistemas de plantio direto e convencional, o sistema de plantio direto teve taxas de infiltração maiores que plantio convencional em Latossolo Vermelho distroférico. Panachuki et al (2011), estudando as perdas de solo e água e a infiltração de água em um Latossolo vermelho sob sistemas de manejo, também concluiu que áreas manejadas sob plantio direto possuem uma maior capacidade de infiltração no solo que áreas manejadas sob plantio convencional.

Os dados de infiltração de água no solo apresentam variabilidade e esta é resultante das diferenças das características naturais do solo, pelas alterações ocasionadas pelo manejo do solo e pelo método utilizado para avaliar a infiltração da água no solo (REICHERT, 2011).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O manejo do solo utilizado para produção agrícola pode alterar as condições físicas do solo, dificultando o desenvolvimento das culturas e causando problemas ambientais. Buscar entender os manejos e as suas características, bem como as alterações nos atributos físicos do solo são fundamentais para estabelecer melhores manejos utilizados na produção agropecuária em Latossolos argilosos.

Embora um ano de avaliações quanto a qualidade física do solo seja um período curto, visto que para isso é necessário vários anos de pesquisa, algumas conclusões podem ser feitas a partir do trabalho proposto, sendo elas:

1. A escarificação do solo reduziu a densidade e aumentou a porosidade total e a macroporosidade do solo, porém seu efeito foi efeito efêmero, durando menos de 12 meses;
2. O armazenamento de água não foi influenciado pelos manejos de solo;
3. O plantio direto apresentou maior capacidade de infiltração de água que os demais tratamentos avaliados;
4. Os atributos físicos do solo não influenciaram na produção e na massa de 1.000 grãos da cultura avaliada;

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABREU, S.L.; REICHERT, J.M. & REINERT, D.J. **Escarificação mecânica e biológica para a redução da compactação em Argissolo franco-arenoso sob plantio direto.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, 28:5 19- 531, 2004.
- ARATANI, R.G. **Qualidade física e química do solo sob diferentes manejos e condições edafoclimáticas no Estado de São Paulo.** 2008, 139 p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, UNESP, Jaboticabal, São Paulo, 2008.
- BAVER, L.D.; GARDNER, W.H. & GARDNER, W.R. **Soil physics.** 4.ed. New York, John Wiley & Sons, 1972. 498p.
- BRAIDA, J.A.; REICHERT, J.M.; VEIGA, M. & REINERT, D.J. **Resíduos vegetais na superfície e carbono orgânico do solo e suas relações com a densidade máxima obtida no ensaio Proctor.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 30, p. 605-614, 2006.
- BRANDT, A.A. **Propriedades mecânicas de solo franco arenoso sob distintos temas de preparo, tráfego mecanizado e resíduos vegetais.** Tese de Mestrado, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria 2005. 89p.
- CAMARA, R.K; KLEIN, V.A. **Escarificação em plantio direto como técnica de conservação do solo e da água.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 29, p. 789-796, 2005.
- CAMARA, R.K. & KLEIN, V.A. **Propriedades físico-hídricas do solo sob plantio direto escarificado e rendimento da soja.** Revista Ciência Rural, v. 35, p. 813-819, 2005.
- CAMARGO, O.A.; ALLEONI, L.R.F. **Compactação do solo e o desenvolvimento das plantas.** Piracicaba: ESALQ, 1997. 132p.
- CAVALIERI, K.M.V.; SILVA, A.P.; TORMENA, C.A.; LEÃO, T.P.; DEXTER, A.R.; HAKANSSON, I. **Long-term effects of no-tillage on dynamic soil physical properties in Rhodic Ferralsol in Paraná, Brazil.** Soil and Tillage Research, v. 103, p.158-164,2009.
- COLLARES, G.L. **Compactação em Latossolos e Argissolo e relação com parâmetros de solo e de plantas.** Tese de Doutorado, Universidade Federal de Santa Maria, 2005. 106p.
- COLLARES, G.L.; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M.; KAISER, D.R. **Qualidade física do solo na produtividade da cultura do feijoeiro num Argissolo.** Revista Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 41, n. 11, p. 1663-1674, Nov. 2006.
- CONAB. **Indicadores da Agropecuária.** Ano XXII, n. 4, abril 2014. p. 90.

DALMAGO, G.A.; BERGAMASCHI, H.; BERGONCI, J.I.; KRUGER, A.M.B.; COMIRAM, F.; HECKLER, B.M.M. **Retenção e disponibilidade de água às plantas em solo sob plantio direto e preparo convencional.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. v.13, p.855-864, 2009.

DEBIASI, H.; FRANCHINI, J.C.; GONÇALVES, S.L. **Manejo da compactação do solo em sistemas de produção de soja sob semeadura direta.** Circular Técnica 63, EMBRAPA, Londrina, PR, Set. 2008.

DRESCHER, M.S.; ELTZ, F.L.F.; DENARDIN, J.E.; FAGANELLO, A. **Persistência do efeito de intervenções mecânicas para a descompactação de solos sob plantio direto.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 35, p. 1713-1722, 2011.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos.** 2.ed. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos. 2006. 306p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo.** 2.ed. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos. 1997, 212p.

FONTANELA, E. **Parâmetros físico-hídricos de um Latossolo sob diferentes sistemas de manejo e níveis de tráfego.** 2008. 78 p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo), Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2008.

GENRO JUNIOR., S.A. Alteração da compactação do solo com o uso de rotação de culturas no sistema plantio di reto. Tese de Mestrado, Universidade Federal de Santa Maria, 2002. 90p.

GONÇALVES, C.S.; RHEINHEIMER, D.S.; PELLEGRINI, J.B.R; KIST, S.L. **Qualidade da água numa microbacia de cabeceira situada em região produtora de fumo.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. v.9, p. 391-399 , 2005.

HERRERO, M.P., JOHNSON, R.R. **High temperature stress and pollen viability of maize.** Crop Science, Madison, v.20, n.6, 1980. p.796-800

HILLEL, D. **Environmental soil physics.** New York, Academic Press . 1998, 170p.

HORN, R.; WAY, T.; ROSTEK, J. **Effect of repeated tractor wheeling on stress/strain properties and consequences on physical properties in structured arable soils.** Soil Till. Res., v. 73, p. 101-106, 2003. In: NICOLOSO, R.S.; AMADO, T.J.C.; SCHNEIDER, S.; et al. **Eficiência da escarificação mecânica e biológica na melhoria dos atributos físicos de um latossolo muito argiloso e no incremento do rendimento de soja.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 32, p. 1723-1734, 2008.

KAISER, D.R. **Estrutura e água em argissolo sob distintos preparos na cultura do milho.** 2010, 151 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo), Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 2010.

KLEIN, V. A.; CAMARA, R. K. **Rendimento da soja e intervalo hídrico ótimo em Latossolo Vermelho sob plantio direto escarificado.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v. 31, n. 2, p. 221-227, mar./abr. 2007.

KLEIN, V. A. **Física do Solo.** Passo Fundo, RS, Editora Universidade de Passo Fundo, 2008. 212p.

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

LIMA, C.L.R.; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M.; SUZUKI, L.E.A.S.; GUBIANI, P.I. Qualidade físico-hídrica e rendimento de soja (*Glycine max L.*) e feijão (*Phaseolus vulgaris L.*) de um Argissolo Vermelho distrófico sob diferentes sistemas de manejo. Revista Ciência Rural, 36:1172 - 1178, 2006.

MANTOVANI, E. C. **Compactação do Solo.** Informação Agropecuária, Belo Horizonte, v. 13, 1987. 147 p.

MARCOLIN, C.D.; KLEIN, V.A. **Determinação da densidade relativa do solo por uma função de pedotransferência para a densidade do solo máxima.** Revista Acta Scientiarum. Agronomy, v. 33, n. 2, p. 349-354, 2011.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants.** 2.ed. London, Academic Press, 1995. p.508-536.

MESQUITA, M.G.B.F.; MORAES, S.O. **A dependência entre a condutividade hidráulica saturada e atributos físicos do solo.** Revista Ciência Rural, v.34, p.963-969, 2004.

PANACHUKI, E.; BERTOL, I.; SOBRINHO, T.A.; 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, v. 35, p. 1777-1785, 2011.

REICHARDT, K.; TIMM, L.C. **Solo, planta e atmosfera: conceitos, processos e aplicações.** 2. ed. Barueri, SP: Manole, 2012.

REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; BRAIDA, J. A. **Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas.** Revista Ciência e Ambiente, 27 ed., Santa Maria, p. 29-48, 2003.

REICHERT, J.M.; SUZUKI, L.E.A.S.; REINERT, D.J. **Compactação do solo em sistemas agropecuários e florestais: identificação, efeitos, limites críticos e mitigação.** Tópicos em Ciência do Solo, v. 5, p. 49-134, 2007.

REICHERT, J.M.; ALBUQUERQUE, J.A.; GUBIANI, P.I.; KAISER, D.R.; et al. **Hidrologia do solo, disponibilidade de água as plantas e zoneamento agroclimático.** Tópicos em Ciência do Solo, v.7, p. 1-54, 2011.

REINERT, D.J.; REICHERT, J.M. **Coluna de areia para medir a retenção de água no solo - protótipos e teste.** Revista Ciência Rural, Santa Maria, v. 36, nº 6, p.1931-1935, nov-dez, 2006.

SECCO, D. **Estados de compactação e suas implicações no comportamento mecânico e na produtividade de culturas em dois latossolos sob plantio direto.** 2003, 128 f. Tese (Doutorado em Agronomia), Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2003.

SECCO, D.; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M.; SILVA, V.R. **Atributos físicos e rendimento de grãos de trigo, soja e milho em dois Latossolos compactados e escarificados.** Revista Ciência Rural, Santa Maria, v. 39, n. 1, p. 58-64, jan-fev, 2009.

SILVA, V.R. **Propriedades físicas e hídricas em solos sob diferentes estados de compactação.** 2003. 171 f. Tese (Doutorado em Agronomia), Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2003.

SILVA, A.P. & KAY, B.D. **Estimating the least limiting water range of soils from properties and management.** Soil Science Society of America Journal, 61:877-883, 1997.

SILVEIRA, G. M. **O manejo do solo: implementos corretos.** Rio de Janeiro: Globo, 1988. 243 p.

SOBRINHO, T.A.; VITORINO, A.C.T.; SOUZA, L.C.F. et al. **Infiltração de água no solo em sistemas de plantio direto e convencional.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 7, n. 2, p. 191-196, 2003.

STRECK, E.V.; KÄMPF, N.; DALMOLIN, R.S.D.; KLAMT, E.; NASCIMENTO, P.C.; SCHNEIDER, P. **Solos do Rio Grande do Sul.** Porto Alegre: EMATER/RS, UFRGS, 2002.

STRECK, C.A.; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M.; KAISER, D.R. **Modificações em propriedades físicas com a compactação do solo causada pelo tráfego induzido de um trator em plantio direto.** Ciência Rural, v. 34, p. 755-760, 2004.

SUZUKI, L.E.A.S. **Compactação do solo e sua influência nas propriedades físicas.** Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2005. 149p.

SUZUKI, L.E.A.S.; REICHERT, J.M.; REINERT, D.J. & LIMA, C.L.R. **Grau de compactação, propriedades físicas e rendimento de culturas em Latossolo e Argissolo.** Pesquisa Agropecuária Brasileira, 42 :115 9-11 67, 2007.

VEIGA, M. da. **Propriedades de um Nitossolo vermelho após nove anos de uso de sistemas de manejo e efeito sobre culturas.** 2005. 126 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo), Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2005.

VIEIRA, M. L. **Propriedades físico-hídrico-mecânicas do solo e rendimento de milho submetido a diferentes sistemas de manejo**. 2006. 104 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia), Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2006.

VOLK, L.B.S; COGO, N.P. **Inter-relação biomassa vegetal subterrânea estabilidade de agregados erosão hídrica em solo submetido a diferentes formas de manejo**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 32, p. 1713-1722, 2008.

WILLIAMS, S.M.; WEIL, R.R. **Crop cover root channels may alleviate soil compaction effect on soybean crop**. Soil Science Society of American Journal.v. 68, p. 1403-1409, 2004.

7. APÊNDICE

Figura 3. Croqui do experimento instalado na área experimental da Universidade Federal da Fronteira Sul, campus Cerro Largo, RS. Período de 2012 a 2014.

