

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
FARROUPILHA  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA  
CURSO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA**

**SISTEMAS DE MANEJOS E SEUS EFEITOS NAS PROPRIEDADES FÍSICO –  
HÍDRICAS DO SOLO E NA PRODUTIVIDADE DE MILHO E SOJA**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO II**

**Estevan Butzke Pydd**

**Alegrete, 2019**

**SISTEMAS DE MANEJOS E SEUS EFEITOS NAS PROPRIEDADES FÍSICO –  
HÍDRICAS DO SOLO E NA PRODUTIVIDADE DE MILHO E SOJA**

**Estevan Butzke Pydd**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Agrícola, do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Farroupilha (IFFar, RS) e da Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA, RS), como requisito parcial para obtenção do Grau de **Bacharel em Engenharia Agrícola**

**Orientador: Prof. Dr. Rafael Ziani Goulart**

**Alegrete, Rio Grande do Sul, Brasil  
2019**

**Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Farroupilha  
Universidade Federal do Pampa  
Curso de Engenharia Agrícola**


A Comissão Examinadora, abaixo assinada,  
aprova o Trabalho de Conclusão de Curso

**SISTEMAS DE MANEJOS E SEUS EFEITOS NAS PROPRIEDADES FÍSICO –  
HÍDRICAS DO SOLO E NA PRODUTIVIDADE DE MILHO E SOJA**

elaborado por  
**Estevan Butzke Pydd**

Como requisito parcial para obtenção de grau de  
**Bacharel em Engenharia Agrícola**

COMISSÃO EXAMINADORA

  
\_\_\_\_\_  
**Rafael Ziani Goulart, Dr.  
(Presidente/Orientador)**

  
\_\_\_\_\_  
**Douglas Dalla Nora, Dr. (IFFAR)**

  
\_\_\_\_\_  
**Eracilda Fontanela, Dra(Unipampa)**

Alegrete, 29 de novembro de 2019

## **AGRADECIMENTOS**

Aos meus pais, Leomar Pydd e Liane Butzke Pydd, e meu irmão Ezequiel Butzke Pydd, por sempre estarem ao meu lado nas horas de necessidade, pelo apoio incondicional, por terem me proporcionado muitas alegrias, até o presente momento de minha vida e, principalmente, pela paciência e compreensão.

A minha excelentíssima companheira Paula de Souza Cardoso, que se faz sempre presente em momentos de necessidade, pela amizade, companheirismo e paciência.

A meu orientador, Professor Rafael Ziani Goulart, pelos belos ensinamentos ao longo do período de formação, pela compreensão e, principalmente, pela sua amizade.

Aos meus colegas de curso e projeto, Paula de Souza Cardoso, Juliane da Silveira Fonseca, Giordana Shimitt, Ingrid Aires, Miguel Chaibem Neto, Antônio Augusto Marques Batista, Vinício José Bordignon, Thomé Hohemberger, Matheus Oliveira Soares, Cristiam Ramos Soares, Samara Beier pelo braço forte na realização de todas as tarefas envolvendo projetos e trabalhos de faculdade.

A Universidade Federal do Pampa - Campus alegrete.

Ao Instituto Federal, Ciência e Tecnologia Farroupilha – Campus Alegrete.

A família Butzke Bassotto, por sempre ter se mostrado prestativa e solidária às questões relacionadas ao desenvolvimento do experimento a campo.

A Professora Dra. Eracilda Fontanela que sempre se mostrou disposta a ajudar nas mais variadas situações desta etapa final da graduação.

## RESUMO

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Farroupilha  
Universidade Federal do Pampa  
Curso de Engenharia Agrícola

### **INFLUÊNCIA DE SISTEMAS DE MANEJOS NAS PROPRIEDADES FÍSICO – HÍDRICAS DO SOLO E NA PRODUTIVIDADE DAS CULTURAS**

AUTOR: Estevan Butzke Pydd

ORIENTADOR: Rafael Ziani Goulart

Data e local da defesa: Alegrete, 29 de novembro de 2019

Este estudo buscou compreender os efeitos dos diferentes tipos de sistema de manejo de solo, nas propriedades físico-hídricas do solo, assim como na produtividade das culturas. O experimento foi conduzido na área experimental do Instituto Federal Farroupilha, campus Alegrete, Rio Grande do Sul. O solo da área experimental é classificado com um Argissolo Vermelho Distrófico arênico. A fim de avaliar as mudanças das propriedades físicas e hídricas, foram realizadas coletas de amostras de solo indeformadas, assim como realizados ensaios de infiltração, de resistência a penetração do solo a campo, e condutividade hidráulica sob carga constante em laboratório. Estas avaliações ocorreram logo após a intervenção dos manejos e sementeira, e subsequentemente após cada término de ciclo de cultivo de verão. Para avaliação da produtividade, foram coletadas amostras referentes a uma área pré-definida. Resultados da primeira coleta (após intervenção dos manejos), mostram uma alteração nos valores de macroporosidade ( $M_a$ ) apenas na camada de 0 – 0,05 m, onde o tratamento SPD acabou por ter valores de  $M_a$  menores em relação aos outros manejos da mesma camada de solo. O aumento da  $M_a$  para os manejos ESC e PC, tem relação com a mobilização mecânica do solo. Enquanto os valores obtidos a após a safra de milho (2015/2016), não apresentou diferenças significativas para as propriedades físicas ou hídricas avaliadas. Contudo, após o cultivo da safra de soja (2016/2017), tem-se um aumento na  $M_i$  do sistema escarificado, em relação aos demais sistemas de manejo de solo. A adoção de sistemas que adotem a escarificação em um determinado momento deve ser bem avaliada em razão dos reais benefícios que esta operação pode trazer para o sistema de cultivo implementado.

**Palavras-chave:** infiltração de água no solo, produtividade de soja e milho, densidade do solo, macroporosidade do solo.

## ABSTRACT

### INFLUENCE OF DIFFERENT MANAGEMENT SYSTEMS ON THE PHYSICAL - WATER PROPERTIES OF THE SOIL AND THE PRODUCTIVITY OF THE CULTURES

Author: Estevan Butzke Pydd  
Advisor: Rafael Ziani Goulart  
Date of defense: November 29<sup>th</sup>, 2019.

This study has the objective to understand the effects of different types of soil management systems in the physical-hydric proprieties of the soil as in the productivity of the crops. The experiment was made in a experimental area of Federal Institute Farroupilha, Alegrete campus, Rio Grande do Sul. The soil of the experimental area is classified as a dystrophic red argisol. In order to evaluate the changes of physical e hydric proprieties, undisturbed samples were collected as well as infiltration tests and penetration resistance of the soil in the field, and hydraulic conductivity under constant stress in laboratory. These evaluations occurred soon after the intervention of management and sowing, and subsequently after each end of the summer cultivation cycle. For yield evaluation, samples were collected from a predefined area. Results of the first sample (after soil management intervention) show a change in macro porosity values (Ma) only in the 0-5 cm soil layer, where SPD treatment turned out to have lower Ma values compared to other managements of the same soil layer. The increase of Ma for ESC and PC management is related to mechanical soil mobilization. For the values obtained after the corn harvest (2015/2016), there are no significant differences for the physical or hydric properties evaluated. However, after soybean crop cultivation (2016/2017), there is an increase in the scarified system Mi, in relation to other soil management systems. The adoption of scarification systems at a given time should be well evaluated given the real benefits this operation can bring to the implemented cropping system.

**Keywords:** soil water infiltration, soybean and corn yield, soil density, soil macro porosity.

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>8</b>
<b>2. OBJETIVOS .....</b>	<b>10</b>
2.1 Objetivos Gerais.....	10
2.2 Objetivos Específicos.....	10
<b>3. REVISÃO.....</b>	<b>11</b>
3.1 Argissolos da Fronteira Oeste.....	11
3.2 Sitemas de Manejo de Solo.....	11
3.3 Processos de Compactação.....	16
3.4 Propriedades físico-hídricas do solo.....	18
<b>4. MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>20</b>
4.1 Área de estudo e estratégia de ação dos tratamentos.....	20
4.2 Análise dos parâmetros físico-hídricos do solo.....	22
4.3 Análise de Plantas.....	27
4.4 Análise estatística.....	27
<b>5. RESULTADOS E DISCUÇÕES.....</b>	<b>28</b>
<b>6. CONCLUSÕES.....</b>	<b>38</b>
<b>7. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>39</b>
<b>8. REFERÊNCIAIS.....</b>	<b>40</b>

# 1 INTRODUÇÃO

O solo é um recurso essencial para o suporte de toda cobertura vegetal, além de todos os seres vivos que habitam o globo terrestre. Este recurso é renovável, porém, a sua renovação ou formação do solo propriamente dito, passa por processos físicos, químicos e biológicos, os quais perduram por milhares de anos para formação de novos perfis de solo. Basicamente, o solo é usado como suporte físico para as plantas ou cultivos, de onde é retirado água e nutrientes para o seu desenvolvimento (BERTONI & NETO, 1990).

O potencial produtivo de gêneros alimentícios em qualquer sistema de cultivo está diretamente relacionado a uma boa estruturação física, química e biológica do solo. Associado a isso, as práticas de manejo e conservação do solo visam estabelecer um uso do solo racional e sustentável.

A perda de potencialidade do solo em oferecer água e nutrientes ao desenvolvimento pleno das culturas, tem como principais motivos a má qualidade de sua estrutura natural e a perda de nutrientes pela lixiviação, ocasionada pela infiltração da água da chuva no perfil do solo. Também, podemos relacionar esta perda de potencial da fertilidade do solo com a perda de matéria orgânica, assim como a perda de solo em si. Para evitar tudo isso, podemos optar por manejos de solo que priorizam manter a estrutura do solo adequada, bem como a sua fertilidade.

Segundo Hudson (1977), o processo de erosão hídrica do solo está ligado basicamente pela intensidade da chuva, declividade do terreno, cobertura do solo, manejo empregado, assim como práticas conservacionistas de solo. Conseqüentemente, no estado do Rio Grande do Sul os maiores valores de precipitações concentram-se no período primavera – verão (COGO et al., 1978; LIMA et al., 1992), o que acaba ocasionando um aumento no potencial erosivo da precipitação, principalmente quando aliado a uma intensa mobilização do solo e/ou pulverização da camada arável, no caso do sistema convencional de preparo.

Para que possamos reduzir a perda de solo pela erosão e, conseqüentemente, do potencial produtivo de solo e plantas, adotam-se práticas conservacionistas, como a cobertura permanente do solo através da rotação de culturas e a mobilização mínima do solo na semeadura. A permanente cobertura do solo tem como objetivo estabelecer uma camada de restos culturais, ciclo após ciclo de cultura. Com esta camada, a



energia cinética da gota da chuva é reduzida, diminui a desagregação das partículas do solo ameniza o selamento da camada superficial, aumenta assim a taxa de infiltração de água nas camadas superiores do solo. A palhada deixada no solo atua na redução da velocidade e atenua a capacidade erosiva da enxurrada (SLONEKER & MOLDENHAURES, 1977). Outro ponto importante que devemos observar, é em que nível o solo encontra-se compactado, seja naturalmente ou pela ação mecânica de máquinas e implementos agrícola.

A compreensão do processo de compactação do solo, assim como a busca por maneiras de sanar este problema, são motivos de muitos estudos pelo mundo todo. A compactação do solo é um problema na manutenção da qualidade física e química dos solos agrícolas (SCHJØNNING et al., 2009; KELLER et al., 2013). Também há registros de degradação física do solo em áreas com adoção do sistema de plantio direto pelo aumento da compactação do solo nas camadas subsuperficiais do mesmo (0,07 a 0,15 m) (SUZUKI et al., 2008; DRESCHER et al., 2011), ocasionadas pelo manejo inadequado do solo, falta de rotação de culturas com sistema radicular diferentes, supercalagem, semeadora sem hastes sulcadoras para deposição do adubo, carga animal elevada nas pastagens e intenso tráfego de máquinas agrícolas (DENARDIN et al., 2011).

Nesse sentido, o conhecimento das propriedades físicas do solo manejado sob os diferentes sistemas de manejo, condicionam uma compreensão das alterações ocasionadas e o comportamento ao longo dos ciclos de cultivos, assim como na produtividade das culturas.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo Geral**

Caracterizar o efeito dos diferentes sistemas de manejo do solo nos atributos físico-hídricos de um Argissolo Vermelho Distrófico arênico, e na produtividade das culturas estabelecidas em função de uma rotação pré-definida na Fronteira Oeste do Rio Grande do Sul.

### **2.2 Objetivos Específicos**

Quantificar o efeito dos tratamentos nos atributos físicos-hídricos do solo;

Avaliar a duração dos parâmetros físico-hídricos ao longo do tempo alterados pelos sistemas de manejo do solo;

Avaliar o rendimento das diferentes culturas influenciadas pelo manejo do solo.

### **3 REVISÃO**

#### **3.1 Argissolos da Fronteira Oeste**

A Fronteira Oeste do Rio Grande do Sul, apresenta solos oriundos das formações areníticas da Era Mesozoica. Isso faz com que os solos apresentem fertilidade natural muito baixa e suscetibilidade aos mecanismos de erosão, como eólica e hídrica (EMBRAPA, 2006).

Segundo Streck et al. (2018), na região da campanha se tem a ocorrência de cinco tipos de Argissolos, sendo eles os Argissolos Vermelhos Distróficos típicos, arênicos e espessarênicos (Unidade de São Pedro), os Argissolos Vermelhos Distróficos úmbrios (Unidade Alto das Canas), os Argissolos Vermelhos Eutróficos típicos (Unidades Santa Tecla), os Argissolos Vermelhos-Amarelos Distróficos abrupáticos (Unidade Santa Clara) e Argissolos Amarelos Alíticos endoredóxicos (Unidade Livramento).

Os Argissolos são constituídos por material mineral que têm diferencial na sua característica no horizonte B textural com maior presença de argila. Possui saturação por bases baixa ou carácter alítico. Logo abaixo de qualquer tipo do horizonte superficial, encontra-se o horizonte B textural (Bt). Adentrando a classificação dos solos, mais especificamente a dos Argissolos Vermelhos Distróficos arênicos, possuem características como textura arenosa desde a sua superfície variando de 0,5 a 0,1 metros (m), no máximo, de profundidade, com horizonte B textural a pelo menos 0,2 m em relação a superfície do solo (STRECK et al., 2018).

#### **3.2 Sistemas de Manejo do solo**

As culturas, comumente, apresentam comportamentos diferentes aos mais variados sistemas de manejo de solo empregados para o seu cultivo. Com isso, ocorre a intensificação do uso do solo através da mecanização agrícola, muitas vezes aliada a pecuária, para produção de grãos e carne, respectivamente. Os sistemas de cultivos utilizados podem variar em função do tipo de solo e cultivo empregado. Com isso, existem diferentes sistemas de manejos abordados, os quais seguem preceitos pré-definidos para sua implementação.

### 3.2.1 Sistema convencional de cultivo

Sistemas de cultivo convencionais, em que os solos são revolvidos com intensidade, ainda são empregados em diversas propriedades agrícolas em virtude da necessidade de atender satisfatoriamente a produção de algumas culturas. Porém, a deterioração física, química e biológica ocorre, muitas vezes, sem o produtor perceber. Conseqüentemente, solos manejados com este tipo de sistema acabam perdendo a fertilidade precocemente, assim como a sua estrutura física ao longo dos ciclos de cultivos.

O sistema convencional de cultivo é promotor de um intenso revolvimento do solo, principalmente na camada superficial, por elevar o potencial erosivo deste solo, prejudicando a qualidade do mesmo. No sistema de preparo convencional do solo, a grade é amplamente utilizada. Comumente a grade mobiliza o solo somente nas camadas superficiais, porém, apresenta um alto rendimento operacional. O uso frequente desse implemento acarreta na formação de camadas compactadas, denominadas de pé-de-grade (SILVA, 1992). Contudo, os arados de discos ou de aivecas são equipamentos que atingem profundidades maiores no perfil do solo, todavia, são pouco empregados, pois requerem maior tempo e potência para sua operação (KOCHHANN & DENARDIM, 1997; KLUTHCOUSK et al., 2000).

Outro problema ocasionado pelo intenso revolvimento do solo é a aceleração da perda de matéria orgânica. A matéria orgânica desempenha um papel fundamental na estruturação do solo (CASTRO FILHO et al., 1998; BERTOL et al., 2001). O processo de perda de matéria orgânica ocorre com a seqüência de mobilização que promove uma maior oxigenação e aumento da temperatura média do solo, fazendo com que aumente a taxa de decomposição da matéria orgânica.

Além da perda de matéria orgânica, Kamimura et al. (2009) salientam que a mobilização intensa do leito de semeadura promove a pulverização da camada arável e compactação da camada subsuperficial. A compactação excessiva do solo pode limitar o desenvolvimento radicular em profundidade, prejudicando a absorção de nutrientes pelas raízes. Além disso, afeta as trocas gasosas, redistribuição de água, afetando a produção final, otimiza o processo de erosão e a potência requerida para o preparo do solo (BICKI & SIEMENS, 1991; SOANE, 1990).

### 3.2.2 Sistema plantio direto de cultivo

A produção agrícola está ligada diretamente a fertilidade do solo, assim como, a tecnologia empregada no campo e o sistema de manejo adotado. O sistema plantio direto segue parâmetros contrários ao do sistema convencional de cultivo. De acordo com Denardin e Kochhann (1997), este sistema segue a premissa de manter a solo com cobertura vegetal permanente e mobilização mínima do solo, ocorrendo somente na linha de semeadura ou cova e na rotação ou consorciação de culturas. Com isso, reduz-se o período e otimiza-se o intervalo entre a colheita e semeadura, que pode ser obtido pelo processo denominado de colher e semear.

Existem pontos positivos desse sistema de cultivo como a manutenção de restos culturais sobre a superfície do solo (GASSEN & GASSEN, 1996). Os autores retratam que com esse sistema de manejo há o controle de plantas daninhas e a presença dos restos culturais ajudam na dissipação da energia cinética do impacto da gota de chuva na superfície do solo, reduzindo o salpicamento e selamento da camada superficial. Ajuda ainda na redução do contato da radiação solar diretamente ao solo, diminuindo a evaporação da umidade contida nele. Estes, entre outros, são fatores benéficos do sistema de plantio direto. Segundo Salton e Mielniczuk (1995), a redução da evaporação da água contribui para o aumento da umidade no solo, ponto importantíssimo em situações em que ocorra baixa precipitação pluviométrica.

Salientando ainda os aspectos positivos do sistema plantio direto, podemos destacar como característica deste sistema o potencial de reserva de nutrientes, que pode se dar de forma rápida e intensa, estando relacionado diretamente ao regime de chuvas da região (ROSOLEM et al., 2003). Conjuntamente a este aspecto, uma característica fomentadora de grandes diferenças neste sistema de cultivo é o não revolvimento da camada arável, deixando restos culturais de fertilizantes e de defensivos. Isso acaba ocasionando um gradiente físico – químico no perfil do solo, com a concentração de nutrientes menos solúveis e matéria orgânica.

A matéria orgânica acumulada na superfície do solo agrega melhorias na estrutura física do solo, como o aumento da retenção de água no solo (CENTURION; DEMATTÊ, 1985). Além disso, provoca melhorias dos parâmetros químicos como o aumento da capacidade de troca de cátions (CIOTTA et al., 2003) e ciclagem de nutrientes. Outra melhoria que este sistema traz ao solo é a otimização nas características biológicas através do estímulo da microfauna, por meio do acúmulo de

compostos orgânicos, aliado à diminuição da amplitude térmica do solo (HU et al., 1997).

### 3.2.3 Sistema escarificado de cultivo

Uma das grandes consequências da adoção do sistema plantio direto de manejo do solo é o adensamento natural do solo. O aumento da compactação do solo se dá pelo intenso tráfego de máquinas pesadas ao longo dos anos. Desta maneira, a formação de uma camada compactada logo abaixo da superfície é inevitável.

A manutenção da qualidade física do solo é muito importante para o desenvolvimento durante todo o ciclo da cultura. Os efeitos do adensamento do solo, geralmente em uma camada situada entre 0,07 e 0,15 m (SUZUKI et al., 2008; DRESCHER et al., 2011), são decorrentes do descuido do manejo, da falta de emprego de uma rotação básica de culturas e do uso de semeadora sem hastes sulcadoras para deposição de adubo na superfície ou na camada superficial (DENARDIM et al., 2011).

A mitigação dos efeitos da compactação é feita através do uso de subsoladores ou escarificadores. Os subsoladores adentram o perfil do solo mais profundamente, atingindo profundidades superiores a 0,30 m. Enquanto a escarificação atinge profundidades inferiores a essa. Dito isso, a escolha da operação que tem o melhor efeito no perfil do solo segue o pretexto de qual a profundidade está localizada a camada compactada do solo; seja ela causada pelo pé de grade ou pé de arado ou mesmo pé de plantio direto.

A escarificação, basicamente, é o emprego de hastes sulcadoras introduzidas no perfil do solo. Porém, esta operação agrícola ocasiona superfícies rugosas quando comparamos com o emprego de outros implementos, como por exemplo, grades pesadas ou grades de discos niveladoras. A escarificação tem por objetivo diminuir a densidade do solo, aumentar a porosidade total e de romper a camada compactada do mesmo (KOCHHANN & DENARDIN, 2000).

A influência destas operações visando a melhoria da estrutura do solo e a resposta da operação no desenvolvimento da cultura, está diretamente ligada a época de realização da mesma. A escarificação interfere na taxa de infiltração, na permeabilidade de água, e na capacidade de armazenamento de água do solo, assim como no volume e velocidade da enxurrada, afetando diretamente a erosão do solo

(LEVIEN et al., 1990).

Segundo Lepsch (2002) o solo é capaz de conduzir ar e água pelos macroporos e de armazenar água por meio dos microporos. A capacidade de armazenar água dos microporos é pelo meio de tensão capilar. Esta capacidade do solo em armazenar água, varia em função de características como, textura, estrutura e conteúdo de matéria orgânica.

#### 3.2.4 Rotação de culturas

A rotação das culturas tem papel fundamental na conservação da estrutura física do solo e no combate à erosão. Diferentes culturas possuem diferentes tipos de sistemas radiculares, conseqüentemente, acabam atingindo distintas profundidades no perfil do solo. Heterogeneidade entre os sistemas radiculares das culturas gera uma ciclagem de nutrientes contidos nas diferentes profundidades do perfil do solo. O emprego de sistemas de rotação de culturas tem papel fundamental para mudanças positivas nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo. Levando em consideração as propriedades físicas do solo, a rotação tem como função aumentar a matéria orgânica do solo, melhorando assim a estrutura do mesmo, também fornecendo palhada suficiente para cobertura da sua superfície (KARLEN et al., 1994).

O volume de material adicionado na superfície e a quantidade de matéria orgânica acumulada no solo estão diretamente ligados ao tipo de culturas utilizadas na rotação (BAYER et al., 2000; AMADO et al., 2001). Os melhores resultados tratando-se em acúmulo de matéria seca são oriundos de culturas que produzem grandes quantidades de matéria seca e que possuem uma relação C/N alta como, milho, aveia preta, trigo, etc.

As espécies da classe leguminosas possuem grande importância na adição de nitrogênio (N) no solo, contribuindo para o controle da acidez do mesmo e na relação C/N da matéria orgânica do solo (HARGROVE, 1986). Contudo, os resíduos vegetais de gramíneas possuem lignina em seus restos culturais, o que promove melhorias no solo, possibilitando aumento de ácidos carboxílicos húmicos nos substratos (PRIMAVESI, 1982), favorecendo a estruturação e estabilidade dos agregados do solo (FASSBENDER & BORNEMISZA, 1994), tornando-se menos suscetível à compactação.

### **3.3 Processos de compactação**

O conceito de compactação faz referência ao processo de decréscimo do volume do solo não saturado quando determinada pressão externa atua sobre a superfície do solo, causada pelo intenso tráfego de máquinas agrícolas, equipamentos de transporte ou pisoteio de animais (LIMA, 2004). Para a Pedologia, a compactação do solo é definida como uma alteração no arranjo de suas partículas constituintes do solo (CAMARGO & ALLEONI, 1997)

#### **3.3.1 Causas da Compactação**

As causas para que ocorra a compactação do solo variam muito. Dentre as principais causas, encontram-se o impacto da gota da chuva, tráfego intenso de máquinas pesadas, preparo do solo com umidade inadequada, lotação animal excessiva, textura do solo e falta da cobertura do solo.

A gota da chuva é considerada uma forma natural de compactação, pois, ao tocar o solo acarreta a desagregação do solo, conseqüentemente, o seu salpicamento pelo fracionamento das partículas de solo e, por fim o selamento superficial. Isso acarreta na diminuição da infiltração, dando início ao escoamento superficial. Conforme Bortolozzo e Sans (2001), para ter o conhecimento da magnitude gerada pelo impacto da gota de chuva no solo, deve-se primeiro conhecer alguns parâmetros, como a intensidade da precipitação da chuva, o diâmetro médio da gota e a velocidade final da mesma.

O preparo do solo quando efetuado de maneira incorreta, ou até mesmo aplicando métodos que não seguem parâmetros conservacionistas, acabam reduzindo a rugosidade do solo (BERTOL,1995), pulverizam a camada superficial e ocorre a formação de uma camada compactada denominada como “pé de grade”.

O tráfego de máquinas é a principal causa da compactação do solo, que com a modernização da frota agrícola, aliada a máquinas cada vez maiores e mais pesadas, potencializam tal efeito. Essa vem da necessidade da intensificação do uso do solo que também contribui para o aumento da compactação.

#### **3.3.2 Efeitos da Compactação**

A amplitude do manejo do solo é responsável por mudanças nas propriedades físicas do solo, que são determinantes pelas condições climáticas, classe do solo,



sistema de rotação de cultura adotado, período com que esta rotação é utilizada, e as condições de umidade do solo, que as operações de preparo e semeadura ocorrem no campo (BERTOL et al., 2000).

A compactação do solo afeta principalmente o desenvolvimento das culturas. Os efeitos da compactação excessiva do solo variam com o tipo de solo, principalmente com uma característica comum relacionado a cada um deles, a textura. Aliado a isso, o salpicamento e o posterior selamento da camada superficial do solo, ocasionados pela chuva, acabam gerando diminuições na taxa de infiltração e, conseqüentemente, no aumento dos nutrientes transportados juntamente com a camada de solo.

O solo que se encontra compactado, proporciona limitações ao crescimento radicular das culturas. A compactação gera a diminuição na infiltração de água no perfil do solo, conseqüentemente, na quantidade de água infiltrada e disponibilizada para as plantas em desenvolvimento, posteriormente.

### 3.3.3 Mitigação da Compactação

A projeção da recuperação de solos compactados depende do tipo de solo, do grau da compactação e da profundidade onde encontra a camada compactada. Solos com teores de argila mais elevados recuperam-se parcialmente com subseqüentes ciclos de umedecimento e secagem, contudo, em solos arenosos esta recuperação é mais lenta (GREACEN & SANDS, 1980). Outro auxílio na descompactação do solo vem da ação de organismos vivos como minhocas e besouros e, principalmente, pela ação de sistemas radiculares agressivos, formando poros biológicos e adição de matéria orgânica.

O limite de compactação atinge o pico máximo quando interfere no crescimento das culturas, fazendo-se necessárias medidas para combater a compactação do solo, com a finalidade de romper a camada compactada. Os métodos para restauração ou rompimento da camada compactada, estabelece assim, condições físicas ideais para o bom desenvolvimento das culturas. Uma das opções para o controle da compactação é feita pela intervenção mecânica com o uso de subsoladores. Esta operação deve ser feita em condições de umidade ideal (solos mais secos que úmidos) e somente quando necessário, pois, esta operação demanda um alto consumo energético (PEDROTT & DIAS JUNIOR, 1996).

Como estratégia, a operação de escarificação do solo é outra forma de combater a compactação, desde que seja feita levando em consideração a umidade do solo, profundidade de atuação que normalmente é feita, no máximo até 0,30 m de profundidade no solo, assim como o espaçamento entre as hastes do escarificador. Contudo, o uso dessa prática deve ser observado cuidadosamente, pois requer alto consumo energético e investimentos em equipamentos e mudanças no sistema de cultivo (CHAMEN et al., 2015).

Salientando que os custos de operação aumentam proporcionalmente em relação à profundidade da camada compactada, os benefícios nas alterações das propriedades físicas estão relacionadas diretamente com a textura do solo, profundidade e frequência da operação. Além de que, os benefícios da escarificação no rendimento das culturas nem sempre condizem com os resultados esperados (GUBIANI et al., 2013; NUNES et al., 2014).

### **3.4 Propriedades físico-hídricas do solo**

A densidade e a porosidade do solo são duas propriedades inversamente proporcionais diante da alteração dos espaçamentos vazios contidos no interior do solo. Com isso transformam-se em parâmetros da quantificação e qualificação da compactação do solo (REICHERT et al., 2007). A densidade representa a relação entre a massa do solo seco por unidade de volume. Dentro desse volume incluem-se o volume de sólidos, assim como o de poros do solo. Portanto, sempre que houver aumento da densidade, haverá modificações nos espaços porosos do solo. Seguindo o preceito dessas duas características, é possível avaliar o estado de conservação do solo, principalmente a influência em parâmetros, como infiltração e retenção de água no solo, trocas gasosas, desenvolvimento de raízes e a predisposição do solo aos processos erosivos, também amplamente utilizada na avaliação da compactação ou adensamento do solo (GUARIZ et al., 2009).

A qualidade do solo também pode ser avaliada através da resistência do solo à penetração, parâmetro este que modifica o crescimento das raízes e serve como base na avaliação dos sistemas de manejo no comportamento do processo de compactação (TORMENA; ROLOFF, 1996). Dessa forma, o aumento da resistência do solo à penetração das raízes, no solo acarreta em restrições no crescimento das culturas, provocando uma deficiência hídrica no solo, resultado das limitações à

exploração das raízes a camadas mais profundas do solo, com maior disponibilidade de água, mesmo em períodos curtos de estiagem (KEMPER; DERPSCHE, 1981; KLEIN; BOLLER, 1995).

A infiltração de água no solo é o processo no qual a água penetra no perfil do solo por ação da gravidade movimentando-se para as camadas mais profundas por meio de vazios. Em solos aerados, em um primeiro momento, o valor da velocidade de infiltração é elevado, tornando-se menor conforme o tempo decorrido, adquirindo valor constante no momento em que ocorre a saturação do solo. Sendo assim, o valor da velocidade de infiltração aproxima-se de um valor mínimo e constante, conhecido como taxa de infiltração básica (TIB).

Segundo Bernardo et al. (2006), a velocidade de infiltração (VI) depende diretamente da textura e da estrutura dos solos. A mesma varia com a percentagem de umidade do solo na época de irrigação; a temperatura do solo; a porosidade do solo; a existência de camada menos permeável ao longo do perfil; e cobertura vegetal, entre outros.

A infiltração é influenciada pela textura do solo, porosidade total, atividade biológica, cobertura vegetal, rugosidade superficial e declividade do terreno, assim como densidade do solo, dentro outros (CARDURO; DORFAMAN., 1988).

Outro parâmetro que expressa as qualidades físicos-hídricas do solo é a condutividade hidráulica, que simboliza a facilidade com que a água se movimenta ao longo do perfil do solo. Esta característica simboliza a capacidade que o solo possui de percolar água no perfil do solo, conforme a distribuição do sistema poroso. Segundo Silva & Kato (1997), a macroporosidade é de suma importância na condutividade hidráulica ( $K_{sat}$ ), portanto, sua redução proporciona uma diminuição nos valores de  $K_{sat}$ .

## 4 MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 Área de estudo e estratégia de ação dos tratamentos

O estudo foi conduzido no campo experimental do Instituto Federal Farroupilha (IFFar) – Campus Alegrete (Figura 1), no município de Alegrete, Rio Grande do Sul, região fisiográfica da Fronteira Oeste, a uma altitude de 111 m, latitude 29° 42' 56.25"S e longitude 55° 31' 25.97"O.



Figura 1 - Área experimental do Instituto Federal Farroupilha - Campus Alegrete e área do estudo.

Fonte: Google Earth

O experimento seguiu o delineamento de blocos ao acaso contemplando 3 tratamentos com 3 repetições. Cada parcela possui as dimensões de 6 x 12 m, abrangendo uma área total de 648 m<sup>2</sup>. Os tratamentos foram dispostos em blocos ao acaso com 3 repetições (Figura 2), sendo intitulados como Sistema Plantio Convencional (PC), Sistema Plantio Direto (SPD) e Sistema Escarificado (ESC).



Figura 2 - Croqui da área experimental. IFFar – Campus Alegrete.

Fonte: própria

O clima da região segundo a classificação de Köppen é tipo Cfa, subtropical úmido, com temperaturas médias de 14,3°C no inverno e 26,3°C no verão e com média anual de precipitação de 1400 mm (MORENO, 1961). O solo da área experimental consiste de um Argissolo Vermelho Distrófico arênico (SiBCS, 2018).

O tratamento PC consistiu no revolvimento do solo com um corte de grade pesada e posteriormente, mais dois cortes com grade leve para homogeneização da superfície de semeadura. Esse tratamento foi executado todas as vezes, antecedendo a semeadura do solo.

Para o tratamento ESC foi utilizado um escarificador de cinco hastes, espaçadas 0,40 m, munidos de discos de corte e rolo destorroador

O tratamento SPD consistiu unicamente da dessecação prévia da parcela, quando necessário, assim, preservando os restos culturais em sua superfície.

Os cultivos adotados para o sistema de rotação de cultura foram, o milho (*Zea mays*) e soja (*Glycine max*) para o período de verão e com a finalidade de produção de grãos. Para o período hibernal foi implementado o cultivo de Aveia preta (*Avena strigosa*), a fim de manter a cobertura do solo.

O início do experimento deu-se no ano agrícola 2015/2016 com a semeadura da cultura do milho no dia 28/08/2015. Posteriormente, no período hibernal, ocorreu a

semeadura de aveia preta (dia 16/06/2016). Para a safra 2016/2017, no período de verão foi introduzida a cultura da soja no dia 21/11/2016, porém, ocorreu uma ressemeadura no dia 13/01/2017. No período de inverno, novamente foi semeada a cultura de aveia preta no dia 14/06/2017.

A ressemeadura da soja ocorreu em função de uma intensa precipitação de 100 mm, ocorrida dois dias após a semeadura. Outro fato importante que resultou na ressemeadura, foi o desalinhamento entre o disco de corte e o conjunto de discos concêntricos responsáveis pela deposição da semente no solo. Este desalinhamento fez com que o conjunto de discos destinados a semente, deslocasse os restos culturais da aveia para o interior do sulco gerado pelo disco de corte, fazendo assim, com que a semente de soja não entrasse em contato com solo suficiente para que ocorresse sua germinação.

Os tratos culturais implementados seguiram as recomendações técnicas para a cultura de milho (REUNIÃO..., 2015), soja (REUNIÃO..., 2014) e forrageiras (FONTANELI et al., 2012) para o estado do Rio Grande do Sul.

## **4.2 Análise de parâmetros físico-hídricos do solo**

### **4.2.1 Coletas de amostras de solo**

Com a finalidade de avaliar as alterações na estrutura do solo, ao longo do tempo, provocados pelo efeito dos diferentes sistemas de preparo do solo, foram realizadas coletas de amostras de solo indeformadas.

A primeira coleta deu-se logo após a intervenção dos manejos e semeadura de milho nas parcelas. As coletas subsequentes foram realizadas logo após o término de cada ciclo de cultivo nas culturas de milho e soja. A coleta de amostras indeformadas foi realizada nas camadas de 0 – 0,05; 0,05 – 0,10; 0,10 – 0,20; 0,20 – 0,30 m, de onde foram retiradas três amostras de cada camada. Para isso, foram utilizados cilindros metálicos com 0,03 m de altura e 0,054 m de diâmetro médio com massa (g) e volume (cm<sup>3</sup>) aferidos individualmente de maneira prévia.

Logo após a coleta, as amostras foram embaladas para vedação com a finalidade de conter a umidade existente no seu interior. Em laboratório foram preparadas com a retirada do solo excedente e colocação de um pano (perflex) na parte inferior, para que não ocorresse qualquer movimento de solo na amostra.

A determinação da densidade deu-se pela relação (Equação 1) entre a massa de solo seco e o volume de solo contido no cilindro. A macroporosidade ou porosidade de aeração foram calculadas (Equação 3) pela diferença do volume de água contida na amostra de solo saturada e o volume de água retirado em coluna de areia (REINERT; REICHERT, 2006) desde a saturação até a tensão de 6 kPa. A microporosidade foi calculada (Equação 2) pela diferença entre o restante de água retida na amostra de solo obtida após processo de coluna de areia, e a massa da amostra de solo seco em estufa a 105° C, por 24 horas. O valor para porosidade total do solo, consistiu na soma dos resultados obtidos de  $M_a$  e  $M_i$  do solo, de acordo com a fórmula (Eq 4). A seguir estão dispostos os seguintes cálculos que foram empregados para obtenção dos valores dos índices físicos do solo, de acordo com Embrapa, 1997. A

A densidade do solo é determinada pela seguinte equação:

$$D_s = \frac{M_{SS}}{V_c} \quad (\text{Eq 1})$$

Onde:

$D_s$  = Densidade do solo ( $\text{g cm}^{-3}$ );

$M_{SS}$  = Massa da amostra de solo seca (g);

$V_c$  = Volume do cilindro ( $\text{cm}^3$ ).

A microporosidade do solo é determinada pela equação:

$$M_i = \frac{M_{60} - M_{SS}}{V_c} \quad (\text{Eq 2})$$

Onde:

$M_i$  = Microporosidade ( $\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ );

$M_{60}$  = Massa da amostra após ser submetida e equilibrada a uma tensão de 60 cm de coluna de água (g);

A macroporosidade do solo é determinada pela equação:

$$Ma = \frac{MS_{sat} - M_{60}}{V_c} \quad (\text{Eq 3})$$

Onde:

Ma = macroporosidade ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ );

MS<sub>sat</sub> = Massa da amostra saturada (g);

A porosidade total do solo foi determinada pela equação:

$$PT = Mi + Ma \quad (\text{Eq 4})$$

Onde:

PT = Porosidade total ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ );

#### 4.2.2 Infiltração de água no solo

A infiltração de água no solo, determinada pela a capacidade da água que infiltra no solo foi determinada pelo método dos anéis concêntricos (BERNARDO et al., 2006). Este método consiste na inserção, na superfície do solo, de dois cilindros de diâmetros diferentes, instalados concetricamente a uma profundidade de 0,15 m no solo.

Este arranjo proporciona a delimitação de dois compartimentos que são preenchidos com água: o compartimento externo, delimitado pela parede interior do cilindro de maior diâmetro e pela parede exterior do menor cilindro e o compartimento interno, totalmente delimitado pela parede interior do cilindro menor.

Durante o ensaio, a água infiltrada no solo a partir do compartimento externo apresenta uma tendência natural de fluir vertical e lateralmente. A saturação do solo nas porções imediatamente abaixo do compartimento externo permite que a água infiltrada a partir do compartimento interno infiltre predominantemente segundo a direção vertical.

A quantidade de água que infiltra no cilindro interno foi determinada por meio da realização de leitura em intervalos de tempo de 30 min. A taxa de infiltração estável (TIE) foi considerada como a média das últimas três leituras, a uma hora, uma hora e trinta minutos e às duas horas, após o início da metodologia, em razão da pequena variação da taxa de infiltração nesse tempo.

A avaliação da infiltração foi realizada após a aplicação dos manejos e



semeadura do milho safra 2015/2016. Também foram feitos ensaios de infiltração logo após o término de cada ciclo de cultivos das principais culturas avaliadas. O ensaio consistiu em três repetições no centro de cada parcela do experimento.



Figura 3 - Realização do ensaio de infiltração de água no solo.

Fonte: própria

#### 4.2.3 Condutividade hidráulica

Para a determinação da condutividade hidráulica de solo saturado ( $K_{sat}$ ), foram utilizadas as mesmas amostras de solo com estrutura preservada utilizadas na determinação dos demais atributos físicos do solo, citado anteriormente. Após, as determinações, as amostras foram saturadas por capilaridade durante 24 horas (Figura 4a).

A  $K_{sat}$  foi determinada em laboratório conforme método descrito em Embrapa (1997). No entanto, foi utilizado um permeâmetro de carga constante (Figura 4b), onde o volume de água percolado das amostras foi medido em três momentos com intervalos de cinco minutos após o início da percolação. A equação utilizada para o cálculo foi:

$$K_{sat} = \frac{Q * L}{A * H * t} * 10 * 60$$

Onde:

Ksat – Condutividade hidráulica em mm/h;

Q – Volume percolado em ml ou g;

L – Altura de solo da amostra em cm;

H – Carga hidráulica em cm;

A – Área do cilindro em cm<sup>2</sup>;

t – Tempo em minutos.



Figura 4 – a) Saturação prévia das amostras de solo por 24 horas;b) permeâmetro de carga constante utilizado para determinação da Ksat.

Fonte: própria

#### 4.2.4 Resistência do solo a penetração (RP)

A resistência do solo a penetração (RP) das raízes foi avaliada a cada término de ciclo de cultivo do milho e da soja, com a finalidade apenas de comparação entre os sistemas de manejo do solo e o cultivo implementado. Para a realização da avaliação foi utilizado um penetrômetro digital com ponta cônica e armazenamento eletrônico de dados a cada 0,01 m de profundidade no perfil do solo até o máximo de 0,30 m.

A amostragem dos pontos para os tratamentos SPD e SPC ocorreram a partir de uma linha de semeadura tomada como referência. A partir desta linha foram realizados cinco pontos de amostragem, sendo um ponto exatamente na linha, outros

dois pontos à esquerda e, outros dois pontos à direita da linha, sempre perpendicularmente às linhas da cultura ali instalada. A distância entre um ponto e outro foi de 0,10 m a partir do marco zero (linha de referência).

Para o tratamento escarificado, a referência para avaliação foi onde a haste sulcadora mobilizou o solo. A partir desta, foram feitos pontos perpendicularmente às linhas de mobilização de solo pelo escarificador. Da mesma forma que realizado no SPD e SPC, a partir do ponto de referência foram realizados cinco pontos distantes 0,10 m a partir do eixo de referência, em cada amostragem. Em todas as parcelas foram realizadas duas repetições em pontos distintos de cada parcela.

### **4.3 Análise de Plantas**

A fim de avaliar os efeitos dos manejos do solo nas culturas, foi avaliada a produtividade para as culturas de milho e soja.

A estimativa da produtividade da cultura de milho foi realizada por coleta de uma amostra no centro da parcela de 4 m linear em três linhas de cultivo, totalizando 12 m lineares de amostra da cultura. A produção total das amostras foi corrigida para uma umidade de 13 %, posteriormente.

Para a cultura da soja foi efetuada a colheita das plantas em área total da parcela, devido à heterogeneidade de estabelecimento de culturas e pelo fato de ter ocorrido uma ressemeadura fora do período ideal para a cultura. Para fins de cálculo da estimativa de produtividade de grãos foram corrigidos para 13% de umidade.

### **4.4 Análise estatística**

Os resultados foram submetidos à análise de variância, utilizando o software SISVAR 5.7 (FERREIRA, 2014), e as médias foram comparadas pelo teste Tukey ao nível de 5% de significância.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados da análise de dados da primeira coleta de solo (Tabela 1) para determinação dos atributos físicos do solo mostram que não houve diferença estatística entre os tratamentos nas distintas camadas para densidade do solo (Ds), microporosidade (Mi) e porosidade total (PT). Para a macroporosidade (Ma), ocorreu diferença estatística significativa apenas na camada do solo de 0 a 0,05 m, onde o tratamento SPD apresentou um valor inferior aos demais tratamentos.

O fato dos tratamentos PC e ESC apresentarem valores maiores em relação ao SPD, dá-se em virtude da maior mobilização do solo ocasionado pela intervenção da escarificação no tratamento ESC e gradagem no tratamento PC. Os valores dos tratamentos PC e ESC diferem 62,5 e 50%, respectivamente, a mais no número de macroporos da referida camada, ou seja, água facilmente drenada.

**Tabela 1.** Atributos físicos de um Argissolo Vermelho Distrófico arênico referentes à primeira coleta de amostras logo, nas diferentes camadas, após a intervenção dos manejos e semeadura do milho.

Tratamento	Camada (m)	Ds g.cm <sup>-3</sup>	Ma		Mi		PT		
					cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup>				
SPD	0 - 0,05	1,64	ns	0,16	a	0,24	ns	0,40	ns
PC		1,32		0,26	b	0,22		0,48	
ESC		1,25		0,24	b	0,21		0,45	
CV (%)			10,40		10,98		10,66		8,53
SPD	0,05 - 0,10	1,65	ns	0,14	ns	0,23	ns	0,36	ns
PC		1,53		0,17		0,23		0,40	
ESC		1,62		0,16		0,24		0,40	
CV (%)			5,71		29,4		4,82		8,86
SPD	0,10 - 0,20	1,67	ns	0,14	ns	0,23	ns	0,37	ns
PC		1,60		0,14		0,23		0,37	
ESC		1,61		0,14		0,25		0,38	
CV (%)			2,58		16,23		6,46		6,47
SPD	0,20 - 0,30	1,63	ns	0,17	ns	0,22	ns	0,39	ns
PC		1,59		0,15		0,23		0,38	
ESC		1,61		0,14		0,25		0,39	
CV (%)			4,20		23,62		10,64		6,81

Médias seguidas da mesma letra na vertical apresentaram significância pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ). CV (%) = Coeficiente de Variação; ns = Não significativo; Ds = Densidade do solo ( $\text{g cm}^{-3}$ ); Ma = Macroporosidade ( $\text{cm cm}^{-3}$ ); Mi = Microporosidade ( $\text{cm cm}^{-3}$ ); PT = Porosidade total ( $\text{cm cm}^{-3}$ ); SPD = Sistema Plantio Direto; PC = Sistema de plantio convencional; ESC = Sistema escarificado de plantio.

Outro ponto importante que se deve observar, é que ocorreu uma redução na densidade do solo, nos manejos PC e ESC em relação ao SPD, principalmente na camada de 0 a 0,05 m. Esta redução foi de 19,51% e 23,27%, para o PC e ESC, respectivamente. A redução na Ds do solo ocasiona uma melhor infiltração de água no perfil do solo. Também, proporciona um ambiente para o desenvolvimento radicular das culturas sem restrição mecânica ao seu crescimento. Em relação aos demais índices físicos avaliados, não houve mudanças abruptas nos demais valores de Ds, Mi, Ma e PT, independente do tratamento abordado e da camada avaliada.

A redução na Ds do solo, que foi mais expressiva no tratamento ESC em todas as camadas, justifica-se pelo fato que a escarificação do solo, rompe as camadas compactadas, diminuindo a densidade do mesmo, com isso, ocasionando um número maior de poros no solo. Conseqüentemente, existe uma maior facilidade de desenvolvimento das raízes, aumento da taxa de infiltração e armazenamento de água no seu perfil, assim como na permeabilidade de água no solo e trocas gasosas com a atmosfera, auxiliando na redução das enxurradas e perdas de solo pela erosão hídrica (DRESCHER et al., 2012).

Os resultados da coleta de dados após o cultivo do milho, representados na tabela 2, quando submetidos ao teste Tukey a 5% de significância, não apresentaram diferenças significativas nos valores de Ds, Ma, Mi e PT. Contudo, os valores de densidade do solo mostram-se equiparados na camada de 0 a 0,05 m, quando comparados com a mesma camada em relação a coleta anterior (tabela 1), principalmente para os manejos PC e ESC.

Para a camada de solo de 0,05 – 0,10, o valor da densidade do solo de 1,66 (g/cm<sup>3</sup>) referente ao tratamento ESC, mostra-se abaixo dos demais tratamentos na mesma camada de solo. Justifica-se esse comportamento, pois a escarificação mecânica acarreta uma mobilização em subsuperfície maior do solo. Contudo, os valores de 1,73 e 1,72 (g/cm<sup>3</sup>), referentes aos manejos SPD e PC, acabam tornando-se cerca de 3,91 % maiores, em média, quando comparados ao tratamento escarificado. Este aumento também é notado na tabela 3, na camada de solo de 0,05 – 0,10 m, que possui um aumento nos valores de Ds para o manejo SPD de 1,80 (g/cm<sup>3</sup>) e de 1,90 (g/cm<sup>3</sup>) para o PC, em relação ao manejo ESC de 1,74 (g/cm<sup>3</sup>). Tal comportamento, atribui-se ao processo natural de reconsolidação do solo, em função das chuvas e dos ciclos de umedecimento e secagem (HILLEL, 1998), assim com do

tráfego de máquinas (CAMPOS et. al., 1995; TARAWALY et. al., 2004)

**Tabela 2.** Atributos físicos de um Argissolo Vermelho Distrófico arênico submetido a diferentes manejos, nas diferentes camadas, após a safra de milho (2015/2016).

Tratamento	Camada (m)	Ds		Ma		Mi		PT	
		(g cm <sup>-3</sup> )				(cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> )			
SPD	0 – 0,05	1,49	ns	0,16	ns	0,21	ns	0,37	ns
PC		1,42		0,22		0,22		0,44	
ESC		1,47		0,17		0,20		0,37	
<b>CV (%)</b>		<b>8,77</b>		<b>30,78</b>		<b>14,56</b>		<b>14,23</b>	
SPD	0,05 – 0,10	1,73	ns	0,13	ns	0,17	ns	0,30	ns
PC		1,72		0,13		0,18		0,31	
ESC		1,66		0,13		0,20		0,32	
<b>CV (%)</b>		<b>3,9</b>		<b>14,41</b>		<b>13,38</b>		<b>9,12</b>	
SPD	0,10 – 0,20	1,67	ns	0,12	ns	0,20	ns	0,32	ns
PC		1,68		0,12		0,20		0,32	
ESC		1,65		0,12		0,22		0,34	
<b>CV (%)</b>		<b>1,57</b>		<b>13,76</b>		<b>19,01</b>		<b>9,39</b>	
SPD	0,20 – 0,30	1,68	ns	0,20	ns	0,16	ns	0,36	ns
PC		1,72		0,11		0,20		0,31	
ESC		1,67		0,14		0,19		0,34	
<b>CV (%)</b>		<b>2,25</b>		<b>14,89</b>		<b>13,58</b>		<b>17,99</b>	

As médias não apresentaram significância pelo teste de Tukey (p<0,05). CV (%)= Coeficiente de Variação; ns = Não significativo; SPD = Sistema de Plantio Direto; PC = Sistema de Plantio Convencional; ESC = Sistema Escarificado de Plantio. Ds = Densidade do solo (g.cm<sup>-3</sup>); Ma = Macroporosidade (cm.cm<sup>-3</sup>); Mi = Microporosidade (cm.cm<sup>-3</sup>); PT = Porosidade total (cm.cm<sup>-3</sup>)

No ano agrícola 2016/2017, após o cultivo da soja, foram analisados os mesmos índices do solo (Tabela 3). Nota-se diferença estatística na camada de 0,05 a 0,10 m do solo, para a propriedade Mi, mostrando que o sistema ESC apresentou maior valor em comparação com os demais tratamentos, ou seja, maior capacidade de retenção de água no solo

Se observamos os resultados de Ds de ambas épocas de avaliação (tabelas 2 e 3), do solo na camada de 0 a 0,05 m, principalmente nos manejos de PC e ESC, nota-se um aumento de maneira progressiva da Ds. Isso ocorreu, provavelmente, em virtude dos ciclos de desenvolvimento das culturas, das precipitações ocorridas nos períodos de cultivos distintos e do próprio tráfego de máquinas na realização da semeadura. Silva et. al., (2012) relataram que os efeitos da escarificação perduraram por menos de um ano, em um Latossolo Vermelho Distrófico.

**Tabela 3.** Atributos físicos de um Argissolo Vermelho Distrófico arênico em diferentes manejos e camadas, após a safra de soja (2016/2017).

Tratamento	Camada (m)	Ds (g cm <sup>3</sup> )	Ma		Mi		PT		
			(cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> )		(cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> )				
SPD	0 - 0,05	1,73	ns	0,21	ns	0,16	ns	0,37	ns
PC		1,60		0,23		0,19		0,43	
ESC		1,69		0,24		0,19		0,43	
CV(%)		4,43		27,73		9,78		12,91	
SPD	0,05 - 0,10	1,80	ns	0,22	ns	0,15	b	0,38	ns
PC		1,97		0,22		0,14	b	0,37	
ESC		1,74		0,22		0,18	a	0,41	
CV(%)		6,84		10,34		6,12		4,60	
SPD	0,10 - 0,20	1,73	ns	0,23	ns	0,16	ns	0,39	ns
PC		1,70		0,21		0,18		0,40	
ESC		1,68		0,25		0,19		0,45	
CV(%)		15,31		16,23		18,56		15,27	
SPD	0,20 - 0,30	1,69	ns	0,23	ns	0,15	ns	0,39	ns
PC		1,54		0,21		0,14		0,36	
ESC		1,69		0,23		0,15		0,38	
CV(%)		10,33		13,66		17,72		14,95	ns

Médias seguidas da mesma letra na vertical não apresentaram significância pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ). CV (%) = Coeficiente de Variação; ns = Não significativo; SPD = Sistema de Plantio Direto; PC = Sistema de Plantio Convencional; ESC = Sistema Escarificado de Plantio. Ds = Densidade do solo (g cm<sup>-3</sup>); Ma = Macroporosidade (cm cm<sup>-3</sup>); Mi = Microporosidade (cm cm<sup>-3</sup>); PT = Porosidade total (cm cm<sup>-3</sup>)

Na tabela 4, estão representados os resultados obtidos no ensaio de condutividade hidráulica. Os referentes valores foram submetidos ao teste Tukey, o qual não detectou nenhuma diferença significativa, com 5 % de probabilidade de erro, independente do manejo, da camada e do período avaliado.

Os resultados de Ksat referentes a primeira coleta de solo (Ksat<sup>1</sup>) mostram que o valor do tratamento SPD (10,42 mm.h<sup>-1</sup>), na camada de 0 a 0,05 m é inferior aos valores de 33,57 e 34,46 mm.h<sup>-1</sup>, dos tratamentos PC e ESC, respectivamente. Isso representa uma redução de 69,36 % em média, da condutividade hidráulica (CH) no SPD, na camada. Esta redução é refletiva pelo fato, que houve uma diminuição significativa no número de Ma e aumento da Ds (Tabela 1) no SPD, na camada avaliada.

**Tabela 4.** Condutividade hidráulica de um Argissolo Vermelho Distrófico arênico referente aos distintos momentos de avaliação.

Tratamento	Camada (m)	Ksat <sup>1</sup>		Ksat <sup>2</sup>		Ksat <sup>3</sup>	
				(mm h <sup>-1</sup> )			
SPD	0 - 0,05	10,42	ns	66,58	ns	11,26	ns
PC		33,57		139,02		18,44	
ESC		34,46		68,54		40,35	
CV (%)		52,14		45,16		64,91	
SPD	0,05 - 0,10	20,40	ns	17,29	ns	9,33	ns
PC		12,00		11,26		5,27	
ESC		14,63		22,78		9,56	
CV (%)		27,41		33,67		30,01	
SPD	0,10 - 0,20	8,63	ns	23,83	ns	11,12	ns
PC		10,66		13,88		10,82	
ESC		7,89		21,44		8,10	
CV (%)		15,82		26,34		16,62	
SPD	0,20 - 0,30	12,35	ns	20,86	ns	10,23	ns
PC		18,24		17,45		21,07	
ESC		26,49		18,32		8,57	
CV (%)		37,35		9,37		51,08	

Médias seguidas da mesma letra não apresentaram significância pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ); ns = Não significativo; Ksat<sup>1</sup> = Condutividade hidráulica determinada logo após a intervenção dos manejos e semeadura; Ksat<sup>2</sup> = Condutividade hidráulica determinada após o cultivo de milho (safra 2015/2016); Ksat<sup>3</sup> = Condutividade hidráulica determinada após o cultivo de soja (safra 2016/2017); SPD = Sistema de Plantio Direto; PC = Sistema de Plantio Convencional; ESC = Sistema Escarificado de Plantio; CV = coeficiente de Variação (%).

Outro ponto importante, que justifica o valor elevado da condutividade hidráulica do solo, na camada de 0 a 0,05 m, conforme o valor demonstrado na tabela 4, é o aumento da Ma do PC em relação aos demais manejos (tabela 2). Como ocorreram vários cortes do solo com grade, nesta camada de solo tem-se uma mobilização maior superficialmente, o que acarreta o valor maior na macroporosidade do solo.

Nas camadas de 0,05 a 0,10 e 0,10 a 0,20 m, não possui mudanças abruptas nos valores de CH dentre os tratamentos. Porém, na camada de 0,20 a 0,30 m o valor do tratamento ESC apresenta um leve aumento na sua CH (26,49 mm.h<sup>-1</sup>), em relação aos demais tratamentos. Isso significa que o tratamento ESC apresenta 73,25% de condutividade a mais, que os outros tratamentos para esta camada de solo. A maior CH é justificada pela maior mobilização em profundidade, ocasionada pelas hastes



sulcadoras do escarificador e a não inversão da camada rompida (GASSEN et al., 2014).

Passado o primeiro cultivo (milho), os resultados do ensaio de CH para todos os tratamentos mostraram valores elevados, para a camada do solo de 0 a 0,05 m, em relação as demais camadas. Contudo, o valor do PC de 139,02 mm.h<sup>-1</sup>, mostra-se uma CH maior que os demais manejos, na mesma camada de solo (0 a 0,05 m), que foram de 66,58 e 68,54 mm.h<sup>-1</sup> para os tratamentos SPD e ESC, respectivamente. Este aumento representa 105,81% em média na CH do solo sob PC, em relação ao SPD e ESC.

O aumento da CH no tratamento PC é justificado pelo fato de ter ocorrido um intenso revolvimento da camada superior do solo pela gradagem. Conseqüentemente, ocorreu o aumento na macroporosidade do solo na camada de 0 a 0,05 m e, conseqüentemente, ocorreu o aumento da porosidade total do solo, conforme tabela 2, que é responsável pela aeração e percolação de água no seu perfil. Os demais tratamentos tiveram um revolvimento mínimo na camada superficial, uma vez que no sistema plantio direto ocorre a mobilização mínima do solo durante a semeadura. Da mesma forma, no sistema escarificado de plantio, ocorre mobilização do solo apenas na linha de corte da haste sulcadora do escarificador. No entanto, para o restante das camadas, ou seja, para as camadas mais profundas, percebe-se valores desconexos em relação a todos os tratamentos analisados.

Para os dados de condutividade hidráulica obtidos em coleta de solo após o cultivo da soja, não se obteve diferença significativa entre os tratamentos nas camadas avaliadas. O valor de CH para tratamento ESC na camada de 0 – 0,05 m mostra-se elevado em relação ao demais tratamentos da mesma camada de solo. Este valor acaba sendo 258,34 % e 118,81% maior que o tratamento SPD e PC, respectivamente. Pierce et al. (1992) descrevem que o efeito da escarificação pode perdurar por um tempo maior em solos de textura franco – arenosa.

Para os valores de taxa de infiltração, não se obteve diferenças estatísticas significativas independente do manejo e período avaliado (Tabela 5). Contudo, nota-se uma diminuição na taxa de infiltração ao longo da execução do experimento. Esta redução ocorre em todos os manejos após a intervenção dos manejos, com o cultivo do milho e da soja.

**Tabela 5.** Taxa de infiltração de água (mm.h<sup>-1</sup>) em um Argissolo Vermelho Distrófico arênico sob diferentes formas de manejos do solo e sementeira.

<b>Tratamentos</b>	<b>TIB 1 (mm.h<sup>-1</sup>)</b>		<b>TIB 2 (mm.h<sup>-1</sup>)</b>		<b>TIB 3 (mm.h<sup>-1</sup>)</b>	
<b>SPD</b>	44,72	ns	25,88	ns	17,97	ns
<b>PC</b>	54,75		41,13		11,04	
<b>ESC</b>	62,33		38,27		09,89	
<b>CV (%)</b>	16,37		23,10		33,71	

Médias seguidas da mesma letra não apresentaram significância pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ); ns = Não significativo; P1 = Após a intervenção dos manejos; P2 = Após o cultivo do milho; P3 = Após o cultivo da soja; CV (%) = Coeficiente de Variação; SPD = Sistema de Plantio Direto; PC = Sistema de Plantio Convencional; ESC = Sistema Escarificado de Plantio.

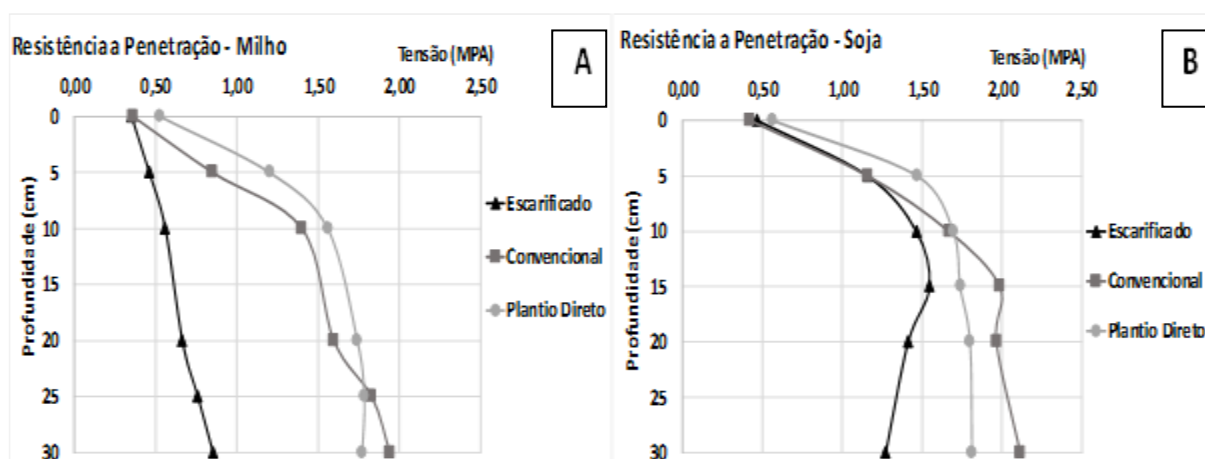
Segundo Bernardo et. al., (2006), com a operação de preparo do solo, no caso dos manejos ESC e PC, a estrutura do solo é modificada mecanicamente, o que provoca um aumento na porosidade do mesmo. Assim, os valores iniciais da infiltração da água (após a intervenção dos manejos) são muito altos, de acordo com a classificação proposta por esses autores, sendo de 44,72, 54,75 e 62,33 mm.h<sup>-1</sup>, para os manejos SPD, PC e ESC, respectivamente. Panachuki et al. (2006) observaram que onde os valores de  $D_s$  são menores e o número de macroporos maiores, tem-se um aumento na taxa de infiltração, que corrobora com os resultados encontrados nesse estudo.

Se comparamos estes valores citados acima com os valores da última safra de soja, tem-se uma redução na taxa de infiltração da água no solo. Esta redução representa em torno de 59,82, 79,84 e 84,13% na taxa infiltração de água no perfil do solo, para os tratamentos SPD, PC e ESC, respectivamente, comparado com a primeira coleta. Porém, na terceira coleta, o SPD possui a maior TIB, o que pode ser influência da melhor estruturação do solo promovida por este sistema de manejo a longo prazo. A redução na taxa de infiltração básica (TIB) dá-se devido à acomodação natural das partículas do solo e pelas precipitações naturais ao longo dos ciclos dos manejos (BERNARDO et. al., 2006).

Na Figura 5 é possível visualizar a disposição da resistência do solo à penetração de raízes (RP) em profundidade obtidas após o cultivo do milho e da soja. Após o cultivo do milho (Figura 5A), as diferenças na RP podem ser percebidas a partir dos 0,03m de profundidade, onde o sistema ESC apresenta tensões muito inferiores às tensões dos demais tratamentos.

Para os manejos PC e SPD, as tensões não variam muito entre si. Após o cultivo da soja, os valores de RP (Figura 5B) foram semelhantes, ocorrendo diferença nas tensões apenas a partir dos 0,10m de profundidade onde permanece o efeito das hastes escarificadoras proporcionando uma redução na RP que perduram por 17 meses quando comparado ao ESC e PC.

Figura 5. Resistência do solo à penetração de raízes (em Mpa) submetido a diferentes formas de manejos após a safra de milho 2015/2016 (A) e após a safra de soja 2016/2017 (B), Alegrete, RS.



A diferença notada no sistema ESC (Figura 5 A), a partir dos 0,03 m de profundidade, onde se encontram tensões muito inferiores as tensões dos demais tratamentos, ocorreu devido ao rompimento das camadas superficiais e sub superficiais através das hastes escarificadoras.

A redução nos valores de RP a partir dos 0,10 m (Figura 5B) após o cultivo da soja no sistema ESC concordam com os obtidos por Wutke et al. (2000), que indicam o efeito da escarificação na melhoria do ambiente físico do solo. Vale ressaltar que na camada superior a 0,10 m, a ocorrência dos ciclos de umedecimento e secagem são mais frequentes e atuam no processo de descompactação natural do solo (REINERT; REICHERT, 2006; BASTOS; SA MENDONÇA, 2005). Tal processo é visível quando são comparadas as curvas de resistência a penetração nos 0,10m iniciais, onde devido a menor intensidade dos ciclos ocasionados pela cobertura vegetal do solo, o SPD apresenta tensões pouco maiores em relação aos demais tratamentos.

É importante considerar que as tensões no solo, em ambos os anos avaliados, apresentam variação considerável entre si, entretanto todas encontram-se abaixo do

índice crítico de 2MPa que passa a restringir o desenvolvimento radicular (REICHERT et al., 2008).

A produtividade da safra 2015/2016 de milho (Tabela 6), diferiu significativamente entre SPD e os demais tratamentos. Os manejos ESC e PC não diferiram entre si, mas proporcionaram um acréscimo de 3,88 % e 5,35%, respectivamente, na produção de grãos em relação ao SPD. Neste primeiro ano de implantação do SPD, as taxas de imobilização dos nutrientes são elevadas o que reduz a disponibilidade nutricional quando comparadas aos sistemas ESC e PC (FERREIRA et. al., 2015). Os sistemas total ou parcialmente revolvidos favorecem a atividade microbiana e elevam as taxas de mineralização do solo, devido ao aumento da temperatura promovido pela mobilização das camadas, além de proporcionar maior área de contato material orgânico com os micro-organismos decompositores.

Após o cultivo de soja (2016/2017) as produtividades não sofreram influência pelos tratamentos. O mesmo se nota no ano agrícola de 2017/2018, onde as médias de produtividade não diferiam entre si.

**Tabela 6.** Rendimento de grãos de milho e soja cultivados nos anos agrícolas de 2015/2016, 2016/2017 e 2017/2018 em um Argissolo Vermelho submetido a diferentes formas de manejo do solo. Alegrete, RS.

Trat	Milho (15/16)		Soja (16/17)		Milho (17/18)		CV %
	Kg ha <sup>-1</sup>	RR %	Kg ha <sup>-1</sup>	RR %	Kg ha <sup>-1</sup>	RR %	
<b>SPD</b>	11211,86 b	94,92	2937,58	96,00	7096,52	126,31	21,01
<b>PC</b>	11811,61 a	100,00	3060,13	100,00	5618,22	100,00	7,88
<b>ESC</b>	11647,12 a	98,61	3182,67	104,00	5790,53	103,07	11,01
<b>CV%</b>	1,05		11,20		11,77		

Médias seguidas de mesma letra minúscula, na coluna, não tem significância pelo teste Tukey (p<0,05). RR= Rendimento Relativo. CV (%)= Coeficiente de Variação.

Segundo o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2019) o período de setembro a fevereiro de 2017/2018 teve redução de 471,4 mm quando comparado ao mesmo período em 2015/2016. Esta redução foi determinante para a produtividade, uma vez que os rendimentos absolutos dos cultivos de milho, na safra agrícola de 2017/2018, foram 47,56% menores para o sistema PC, 49,72% para o sistema ESC e 36,70% para o sistema SPD em comparação ao ano agrícola de 2015/2016. Neste cenário, os sistemas ESC e PC tiveram redução no rendimento do cultivo de 10,86% e 12,5%, respectivamente, quando comparados ao SPD do mesmo ano em relação

safra de 2015/2016. A menor redução na produtividade no SPD está associada a maior conservação de umidade no solo promovido pela cobertura vegetal e pela não inversão de camadas (BASTOS; SÁ MENDONÇA, 2005).

Por outro lado, a redução na produtividade da safra 2017/2018 para os sistemas de ESC e PC, em relação ao sistema de plantio direto da mesma safra, tem como consequência a perda de matéria orgânica do solo (MOS) pelo intenso revolvimento nos manejos. Mesmo que no sistema ESC não ocorra o total revolvimento da superfície do solo, tem-se o revolvimento parcial desta superfície, o que pode levar a uma perda de MOS.

Segundo Bayer & Bertol (1999), manejos de solo que são conciliados com aração e, ou, gradagem do solo, aumentam o potencial de perda de matéria orgânica do solo (MOS). Esta perda dá-se pela erosão hídrica e decomposição microbiana, sendo esta última a principal forma de perda de MOS afetada pela utilização de máquinas agrícolas.

Também é importante considerar que o SPD estava em processo de modificação, da fase inicial de estabelecimento para a fase de transição, onde o processo de imobilização é reduzido e as taxas de liberação de nutrientes, na forma mineral, eleva-se, o que torna maior a disponibilidade de nutrientes na solução do solo (FERREIRA, et al., 2015). Associado a isso, em sistemas sem revolvimento de camadas, ocorre elevação dos teores de carbono o qual promove maior estabilidade dos agregados do solo e resulta em um ambiente físico mais favorável ao crescimento radicular (VEZZANI; MIELNICZUK, 2011).

## 6 CONCLUSÕES

O sistema ESC proporcionou um ambiente físico com menor impedimento ao crescimento radicular, entretanto não foi um fator decisivo para a determinação da produtividade uma vez que em todos os tratamentos, as tensões de resistência do solo a penetração das raízes, encontram-se abaixo do índice crítico. A operação mostrou-se eficaz na alteração das propriedades físico-hídricas no momento inicial, diminuindo a  $D_s$ , aumentando o número de poros e a taxa de infiltração. Contudo, com o passar do tempo, evidenciou-se o aumento da  $D_s$ , assim como o aumento da microporosidade na camada subsuperficial do solo, após o cultivo da soja.

A produtividade do SPD tende a ser elevada com o decorrer dos anos de implantação do sistema. Contudo, o plantio convencional tende a apresentar resultados satisfatórios inicialmente. Porém, com os sucessivos revolvimentos da camada superficial do solo, tem-se a degradação, com isso uma redução da produtividade ao longo dos anos e esgotamento físico, químico e biológico do solo como sistema.

Para a classe de solo Argissolo Vermelho Distrófico arênico, o processo de escarificação mostrou-se ineficaz em relação aos níveis de tensão a resistência do solo a penetração das raízes. Corroborando a isso, os dados das propriedades físico-hídricas do solo ao decorrer do desenvolvimento do experimento, apresentam singelas mudanças. Portanto, a escarificação torna-se desnecessária com a finalidade do aumento no rendimento das culturas agrícolas de sequeiro.

## **7 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

As opções de sistemas de manejos são inúmeras diante de cada tipo de sistema de cultivo e, ou, de solo em que este será implementado. Porém, previamente, o sistema de plantio convencional tem um resultado visual e produtivo melhor se comparado com o sistema de plantio direto, visto que o SPD leva mais de cinco anos para começar a mostrar resultados efetivos na produção agrícola e mais de vinte anos para se consolidar como sistema de plantio direto.

Com a implementação dos sistemas diretos de cultivos, sem a mobilização do solo, tem-se a formação das camadas compactadas em subsuperfície. Com isso, opções de manejos que adotam a escarificação, e acabam rompendo esta camada compactada, trazendo benefícios para o desenvolvimento das culturas são opções interessantes.

Contudo, a interferência desta operação não tem duração longa, além de que, esta operação demanda tempo e potência para realização da mesma, o que podemos traduzir em um alto custo para realização. Cabe avaliar se este manejo é realmente benéfico para o sistema de produção empregado em cada propriedade rural assim como, levar em consideração a classe de solo em evidência.

## REFERÊNCIAS

AMADO, T. J. C.; BAYER, C.; ELTZ, F. L. F.; BRUM, A. C. R. Potencial de culturas de cobertura em acumular carbono e nitrogênio no solo no plantio direto e a melhoria da qualidade ambiental. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, n. 1, p. 189-197, jan./mar. 2001.

BASTOS, R. S.; SÁ MENDONÇA., **Formação e estabilização de agregados do solo influenciados por ciclos de umedecimento e secagem após adição de compostos orgânicos com diferentes características hidrofóbicas**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 2005.

BASTOS, R. S.; SÁ MENDONÇA., **Formação e estabilização de agregados do solo influenciados por ciclos de umedecimento e secagem após adição de compostos orgânicos com diferentes características hidrofóbicas**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 2005.

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

BAYER, C.; MIELNICZUK, J.; MARTIN-NETO, L. Efeito de sistemas de preparo e de cultura na dinâmica da matéria orgânica e na mitigação das emissões de CO<sub>2</sub>. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, n. 3, p. 599-607, jul./set. 2000.

BERNADO, S. **Manual de Irrigação**. Universidade federal de Viçosa, MG, 8 ed. 2006, 625 p.

BERTOL, I. **Comprimento crítico de declive para preparos conservacionistas de solo**. 1995. 185p. Tese. (Doutorado em Ciência do Solo) – Departamento de Solos, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS.

BERTOL, I. et al. Propriedades físicas de um cambissolo húmico afetadas pelo tipo de manejo do solo. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.58, n.3, p.555-560, jul./set., 2001.

BERTOL, I.; SCHICK, J.; MASSARIOL, J.M.; REIS, E.F.; DILY, L. Propriedades físicas de um cambissolo húmico álico afetadas pelo manejo do solo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.30, p.91-95, 2000.



BERTONI J.; NETO L. F. **Conservação do Solo**. 3° ed. São Paulo: Ícone, 1990.

BICKI, T.J.; SIEMENS, J.C. Crop responses to wheel traffic soil compaction. **Transactions of the American Society of Agricultural Engineers**, St. Joseph v.34, n.3, p.909-913, 1991.

BORTOLOZZO, A.R.; SANS, L.M.A. Selamento superficial e seus efeitos na taxa de infiltração: uma revisão. **Revista FactuCiência**, Unaí, ano 1, n.1, p.32-42, 2001.

BOTTA, G.F.; JORAJURIA, D.; BALBUENA, R.; RESSIA, M.; FERRERO, C.; ROSATTO, H.; TOURN, M. Deep tillage and traffic effects on subsoil compaction and sunflower (*Helianthus annuus* L.) yields. **Soil and Tillage Research**, v.91, p.164-172, 2006. DOI: 10.1016/j.still.2005.12.011.

CAMARGO, O.A.; ALLEONI, L.R.F. **Compactação do solo e o desenvolvimento das plantas**. Piracicaba, SP: ESALQ, 1997. 132p

CAMPOS, B.C.; REINERT, D.J.; NICOLODI, R.; RUEDELL, J. & PETRERE, C. **Estabilidade estrutural de um Latossolo Vermelho-Escuro distrófico após sete anos de rotação de culturas sistemas de manejo do solo**. R. Bras. Ci. Solo, 19:121-126, 1995.

CARDURO, F. A; DORFAMAN, R. **Manual de ensaios de laboratório e campo de irrigação e drenagem**. Brasília: PRONI. 1988. 216p

CASTRO FILHO, C.; MUZILLI, O.; PODANOSCHI, A.L. Estabilidade dos agregados e sua relação com o teor de carbono orgânico em um Latossolo Roxo Distrófico, em função de sistemas de plantio, rotações de culturas e métodos de preparo das amostras. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.22, n. 3, p.527-538. jul./set., 1998.

CENTURION, J.F.; DEMATTÊ, J.L.I. Efeitos de sistemas de preparo nas propriedades físicas de um solo sob cerrado cultivado com soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.9, n.3, p.263-266, 1985.

CHAMEN, W.C.T; MOXEY, AP.; TOWERS, W.; BALANA, B.; HALLETT, P.D. Mitigating arable soil compaction: a review and analysis of available cost and benefit data. **Soil and Tillage Research**, v. 146, p. 10-25, 2015.

CIOTTA, M.N. et al. Matéria orgânica e aumento da capacidade de troca de cátions em solo com argila de atividade baixa sob plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, vol.33, n.6, p. 1161-1164. nov./dez., 2003.

COGO, N.P.; DREWS, C.R.; GIANELLO, C. Índice de erosividade (valor EI30) das chuvas dos municípios de Guaíba, Ijuí e Passo Fundo. In: **ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA SOBRE CONSERVAÇÃO DO SOLO**, 2., Passo Fundo, 1978. Anais. Passo Fundo, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 1978. p.145-152.

DENARDIN, J.E.; KOCHHANN, R.A. Pesquisa de desenvolvimento em sistema plantio direto no Rio Grande do Sul. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO**, 26., 1997, Rio de Janeiro. Anais... Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1997. 1 CD ROOM.

DENARDIN, J.E.; KOCHHANN, R.A.; FAGANELLO, A. 15 de abril dia nacional da conservação do solo: a agricultura desenvolvida no Brasil é conservacionista ou não? **Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, v.36, p.10-15, 2011.

DRESCHER, M.S.; ELTZ, F.L.F.; DENARDIN, J.E.; FAGANELLO, A.; DRESCHER, G. L. Resistência à penetração e rendimento da soja após intervenção mecânica em Latossolo Vermelho sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.36, n. 6, p.1.836 – 1.844, 2012.

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.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solos**. 2.ed. Rio de Janeiro, 1997. 212p.

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

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. CENTRO NACIONAL DE PESQUISA DE SOLOS. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA/Cnpq, 2006. 306 p.

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. *Ciência Rural*, v.39, p.2475-2481, 2009.

FASSBENDER, H. W.; BORNEMISZA, E. Química de suelos: com énfasis en suelos de América Latina. 2. ed. **San José: IICA**, 1994. 420 p.

FERREIRA, A.O.; AMADO, T. J.C.; RICE, C.W., **O sistema plantio direto em fase de manutenção recupera o estoque de carbono original do solo? Um panorama das áreas pioneiras sob plantio direto no Rio Grande do Sul**. *Revista Plantio Direto*, 2015.

FERREIRA, Daniel Furtado. Sisvar: a Guide for its Bootstrap procedures in multiple comparisons. *Ciênc. agrotec.* [online]. 2014, vol.38, n.2 [citado 2015-10-17], pp. 109-112 . Disponible en: ISSN 1413-7054. <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542014000200001>.

FONTANELI, R. S. et.al. **Forrageiras para integração lavoura-pecuária-floresta na região sul-brasileira** - 2. ed. - Brasília, DF : Embrapa, 2012.

GASSEN, D.N.; GASSEN, F.R. **Plantio direto**. Passo Fundo, Aldeia Sul, 1996. 207p.

GREACEN, E.L. & SANDS, R. Compaction of forest soils: A review. *Aust. J. Soil Res.*, 18:163- 169, 1980.

GASSEN, J. R. F. et al. Resistência específica à tração na operação de escarificação do solo em camadas de forma simultânea. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, n. 1, p. 116 – 124, 2014

GUARIZ, H. R. et al. Variação da Umidade e da Densidade do Solo sob Diferentes coberturas Vegetais. **Revista Brasileira de Agroecologia**, Cruz Alta, RS, v. 4, n. 2, p. 3293-3296, nov., 2009.

GUBIANI, P.I.; GOULART, R.Z.; REICHERT, J.M.; REINERT, D.J.; Crescimento e produção de milho associados com intervalo hídrico ótimo. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, v.37, p.1502-1511, 2013.

HARGROVE, W. L. Winter legumes as a nitrogen source for no-till grain sorghum. **Agronomy Journal**, Madison, v. 78, n. 1, p. 70-74, Jan./Feb. 1986.

HERNANI, L.C.; SALTON, J.C.; FABRÍCIO, A.C.; DEDECEK, R.; ALVES JR., M. Perdas por erosão e rendimentos de soja e de trigo em diferentes sistemas de preparo de um Latossolo Roxo de Dourados (MS). **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, v.21, p.667-676, 1997.

HILLEL, D. **Environmental soil physics**. New York, Academic Press, 1998. 770p.

HU, F.; LI, H.X.; WU, S.M. Differentiation of soil fauna populations in conventional tillage and no-tillage red soil ecosystems. **Pedosphere**, v.7, p.339-348, 1997.

HUDSON, N.W. Soil conservation. Ithaca, **Cornell University Press**, 1977. 320p.

JIN, H.; HONGWEN, .; XIAOYAN, W.; McHUGH, A.D.; WENYING, L.; HUANWEN, G.; KUHN, N.J; The adoption of annual subsoiling as conservation tillage in dryland maize and wheat cultivation in northern China. **Soil and Tillage Research**, v.94, p.493-502, 2007.

KAMIMURA, K.M. et al. Propriedades físicas de um Latossolo Vermelho sob cultivo do arroz de terras altas em diferentes manejos do solo e água. **Bragantia**, Campinas, v.68, n.3, p.723-731, set., 2009

KARLEN, D. L.; VARVEL, G. E.; BULLOCK, D. G.; CRUSE, R. M. Crop rotations for the 21 st century. *Advances in Agronomy*, New York, v. 53, p. 1-45, 1994.

KELLER, T.; LAMANDÉ, M.; PETH, S.; BERLI, M.; DELENNE, J.-Y.; BAUMGARTEN, W.; RABEL, W.; RADJAI, F.; RAJCHENBACH, J.; SELVADURAI, A.P.S.; OR, D. An interdisciplinary approach towards improved understanding of soil deformation during compaction. **Soil and Tillage Research**, v.128, p.61-80, 2013

KEMPER, B.; DERPSCH, R. In: RUSSEL, R.S. et al. (ed.). The soil/root system in relation to Brazilian agriculture. Londrina: **IAPAR**, p. 81-101. 1981.

KLEIN, V. A.; BASEGGIO, M.; MADALOSSO, T. Indicadores da qualidade física de um Latossolo Vermelho distrófico típico sob plantio direto escarificado. **Revista Ciência Rural**, vol. 39, nº 9, Santa Maria, dez. 2009.

KLEIN, V.A.; BOLLER, W. Avaliação de diferentes métodos de manejos de solo e

métodos de semeadura em áreas sob plantio direto. **Ciência Rural, Santa Maria**, v.25, p.395-398, set./dez., 1995.

KOCHHANN, R. A.; DENARDIN, J. E. Implantação e manejo do sistema plantio direto. Passo Fundo, **EMBRAPA-CNPT**, 2000. 36p.

KOCHHANN, R.A.; DENARDIN, J.E. Comportamento das culturas de trigo, soja e milho à adubação fosfatada no sistema de plantio direto e preparo convencional. In: **SEMINÁRIO INTERNACIONAL DO SISTEMA PLANTIO DIRETO**, 2., 1997, Passo Fundo. Anais... Passo Fundo: EMBRAPA-CNPT, 1997. p.243-246.

KLUTHECOUSKI, J.; FANCELLI, A. L.; DOURADO-NETO, D.; RIBEIRO, C.M.; FERRARO, L. A. Manejo do solo e o rendimento da soja, milho, feijão e arroz em plantio direto. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.57, n.1, p.97-104, 2000.

LEPSCH, Igo F. **Formação e Conservação Dos Solos**. Oficina de Textos. São Paulo. 2002.

LEVIEN, R.; COGO, N.P.; ROCKENBACH, C.A. Erosão na cultura do milho em diferentes sistemas de cultivo anterior e métodos de preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.14, p. 73-80, 1990.

LIMA, V.S.; CASSOL, E.A. & SEVERO, M.D.A. **Determinação da erosividade das chuvas nos municípios de Ijuí e São Borja, RS, no período de 1982-1991**. In: SALÃO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 4., Porto Alegre, 1992. Resumos. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1992. v.1, p.185.

LIMA, C.L.R. **Compressibilidade de solos versus intensidade de tráfego em um pomar de laranja e pisoteio animal em pastagem irrigada**. 2004. 70p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Departamento de Solos e Nutrição de Plantas, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP.

LINDSTROM, W.J.; SCHUMACHER, T.E.; COGO, N.P.; BLECHA, M.L. Tillage effects on water runoff and soil erosion after sod. **Journal of Soil Water Conservation**, Ankeny, v.53, p.59-63, 1998.

NUNES, M.R.; PAULETTO, E.A.; DENARDIN, J.E.; FAGANELLO, A.; PINTO, L.F.S.; SCHEUNEMANN, T. Persistência dos efeitos da escarificação sobre a compactação de Nitossolo sob plantio direto em região subtropical úmida. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.49, p.531-539, 2014.

MORENO, José Alberto. 1961. Clima do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, Secretaria da Agricultura, 42p. 1961.

PANACHUKI, E.; SOBRINHO, T. A.; VITORINO, C. T.; CARVALHO, D. F.; URCHEI, M. A. Avaliação da infiltração de água no solo, em sistema de integração agricultura-pecuária, com uso de infiltrômetro de aspersão portátil. *Acta Sci. Agron. Maringá*, p. 129-137, Jan./March, 2006.

PEDROTTI, A. & DIAS JUNIOR, M.S. Compactação do solo: como evitá-la. *Agropecu. Catarinense*, 9:50-52, 1996.

PIERCE, F. J.; FORTIN, M. C.; STATON, M. J. Immediate and residual effects of zone tillage in rotation with no-tillage on soil physical properties and corn performance. *Soil and Tillage Research*, Elsevier, v. 24, n. 2, p. 149 – 165, July, 1992.

PRIMAVESI, A. O manejo ecológico do solo. 4. ed. **São Paulo: Nobel**, 1982. 541 p.

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

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

REINERT, D.J.; ALBUQUERQUE, J.A.; REICHERT, J.M.; AITA, C. & ANDRADA, M.M.C. Limites críticos de densidade do solo para o crescimento de raízes de plantas de cobertura em Argissolo Vermelho. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 32:1805-1816, 2008.

REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO SUL. **Indicações técnicas para a cultura da soja no Rio Grande do Sul e em Santa Catarina, safras 2014/2015 e 2015/2016.** / XL Reunião de Pesquisa de Soja da Região Sul; organizada por Ana Cláudia Barneche de Oliveira e Ana Paula Schneid Afonso da Rosa. – Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2014.

REUNIÃO TÉCNICA ANUAL DE MILHO. LX Reunião Técnica Anual de Milho e XLIII Reunião Técnica Anual de Sorgo: **Indicações técnicas para o cultivo de milho e de sorgo no Rio Grande do Sul safras 2015/2016 e 2016/2017** / editores técnicos,

Beatriz Marti Emygdio, Ana Paula Schneid Afonso da Rosa. – Brasília, DF: Embrapa, 2015.

ROSOLEM, C. A.; CALONEGO, J. C.; FOLONI J. S. S. Lixiviação de potássio da palha de espécies de cobertura de solo de acordo com a quantidade de chuva aplicada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 2, mar./abr., 2003.

SALTON, J.C.; MIELNICZUK, J. Relações entre sistemas de preparo, temperatura e umidade de um Podzólico vermelho-escuro de Eldorado de Sul (RS). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.19, n.2, p.313-319, 1995.

SCHJØNNING, P.; HECKRATH, G.; CHRISTENSEN, B.T. Threats to soil quality in Denmark: a review of existing knowledge in the context of the EU Soil Thematic Strategy. **Tjele: Aarhus University, Faculty of Agricultural Sciences**, 2009. 121p. (DJF Report Plant Science, 143).

SiBCS - Sistema Brasileiro de Classificação de Solos / Humberto Gonçalves dos Santos ... [et al.]. – 5. ed., e ampl. – Brasília, DF: Embrapa, 2018.

SILVA, C.L. & KATO, E. **Efeito do selamento superficial na condutividade hidráulica saturada da superfície de um solo sob cerrado**. *Pesq. Agropec. Bras.*, 32:213-220, 1997.

SILVA, S. G. C.; SILVA Á. P. da; GIAROLA, N. F B.; TORMENA, C. A.; SÁ. J. C. de M. **Temporary effect of chiseling on the compaction of a Rhodic Hapludox under no-tillage**. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v36, p.547-555, 2012.

SILVA, J. G. **Ordens de gradagem e sistemas de aração do solo: desempenho operacional, alterações na camada mobilizada e respostas do feijoeiro (Phaseolus vulgaris L.)**. 1992. 180p. Tese (Doutorado em Agronomia), Universidade Estadual Paulista, Botucatu, SP.

SILVA, V. R.; REICHERT, J.M.; REINERT, D.J. Variabilidade espacial da resistência do solo à penetração em plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.34, n.2, p.399-406, 2004.

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

SOANE, B. D.; The role organic matter in soil compaction: a review of some practical

aspects. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, V. 16, n. ½, p. 179-201, 1990.

SOANE, B.D., OUWERKERK, C. van. Soil compaction problems in world agriculture. In: SOANE, B.D., OUWERKERK, C. van, eds. **Soil compaction in crop production**. Netherlands: Elsevier, 1994. p.1-21.

STRECK, et. al.; FLORES; SCHNEIDER, (Cibs) **Solos do Rio Grande do Sul**. 3. ed., rev. e ampl. Porto Alegre: Emater/RS-Ascar, 2018. 252 p. il. color.

SUZUKI, L.E.A.S. et al. Estimativa da susceptibilidade à compactação e do suporte de carga do solo com base em propriedades físicas de solos do rio grande do sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 3, p. 963-973, mai./jun., 2008.

SUZUKI, L.E.A.S. et al. Estimativa da susceptibilidade à compactação e do suporte de carga do solo com base em propriedades físicas de solos do rio grande do sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 3, p. 963-973, mai./jun., 2008.

TARAWALY, M.A.; MEDINA, H.; FRÓMETA, M.E. & ITZA, C.A. **Field compaction at different soil-water status: effects on pore size distribution and soil water characteristics of a Rhodic Ferralsol in Western Cuba**. Soil Tillage Res., 76:95-103, 2004.

TORMENA, C.A.; ROLOFF, G. Dinâmica da resistência à penetração de um solo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.20, n. 2, p.333-339, mar./abr., 1996.

VEZZANI, F. M.; MIELNICZUK, J. **Agregação e estoque de carbono em Argissolo submetido a diferentes práticas de manejo agrícola**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.35, p.213-223, 2011.

WUTKE, E.B.; ARRUDA, F.B.; FANCELLI, A.L.; PEREIRA, J.C.V.N.A.; SAKAI, E.; FUJIWARA, M.; AMBROSANO, G.M.B. **Propriedades do solo e sistema radicular do feijoeiro irrigado em rotação de culturas**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 2000.