

**BEN-HUR NATAL DAL PIVA**

**AVALIAÇÃO DE UM CAMBISSOLO POR MEIO DE CARACTERÍSTICAS E  
PROPRIEDADES DO SOLO E DE DESEMPENHO DE CULTURAS, APÓS  
CONVERTER O PREPARO CONVENCIONAL PARA SEMEADURA DIRETA**

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

Orientador: Dr. Ildegardis Bertol

Co - orientadora : Andréia Patrícia Andrade

**LAGES, SC**

**2019**

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

Piva, Ben-Hur Natal Dal

Avaliação de um Cambissolo por meio de características e propriedades do solo e de desempenho das culturas, após converter o preparo convencional para semeadura direta / Ben-Hur Natal Dal Piva. -- 2019.

72 p.

Orientador: Ildegardis Bertol

Coorientadora: Andréia Patrícia Andrade

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

1. preparo do solo. 2. semeadura direta. 3. preparo convencional. I. Bertol, Ildegardis. II. Patrícia Andrade, Andréia. III. Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências Agroveterinárias, Programa de Pós-Graduação em Ciência Do Solo. IV. Titulo.

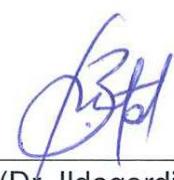
**BEN-HUR NATAL DAL PIVA**

**AVALIAÇÃO DE UM CAMBISSOLO POR MEIO DE CARACTERÍSTICAS E PROPRIEDADES DO SOLO E DE DESEMPENHO DE CULTURAS, APÓS CONVERTER O PREPARO CONVENCIONAL PARA SEMEADURA DIRETA**

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

**Banca examinadora:**

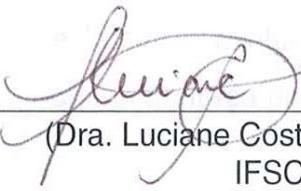
**Orientador:**

  
(Dr. Ildegardis Bertol)  
UDESC

**Membros:**

  
(Dra. Andréia Patrícia Andrade)  
UDESC

  
(Dra. Letícia Sequinatto)  
UDESC

  
(Dra. Luciane Costa de Oliveira )  
IFSC

**LAGES, SC**

**2019**



Dedico este trabalho aos meus pais, Paulino e Lúcia, e minha irmã Bárbara, pelo amor, carinho e força presentes em minha vida.



## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus pela vida e oportunidade de concluir mais esta etapa em minha caminhada.

Aos meus pais, Paulino e Lúcia, pelos ensinamentos repassados durante toda minha vida e apoio para concretização desse sonho.

À minha irmã Barbara, pela amizade, pelo incentivo e companheirismo.

Ao meu orientador e professor Dr. Ildegardis Bertol, pela orientação sempre sólida; pela paciência e pela transmissão de conhecimentos durante todo o curso, que muito contribuíram para o meu desenvolvimento pessoal e profissional.

Aos amigos e colegas do laboratório de Uso e Conservação do Solo – CAV/UDESC, Tércio, Marco, Artur, Luciane, Romeu, Barbara, Neuro e Luiz que contribuíram significativamente para o desenvolvimento deste trabalho, e em especial a Venesa Santos e o Gilmar Luiz Mumbach, que gentilmente auxiliaram-me na execução das análises laboratoriais durante o desenvolvimento desta pesquisa.

A todos os amigos do programa da Pós-Graduação, pela amizade e cooperação.

À minha tia Carmes, pelo incentivo a prosseguir na carreira acadêmica.

Aos amigos Ricardo, Gabriel e Amanda, que sempre estiveram presentes apoiando e incentivando-me durante estes dois anos de curso.

Aos professores do programa de Pós-Graduação de Ciência do Solo, pelos conhecimentos transmitidos e convívio durante todo o curso.

À UDESC, como instituição de ensino gratuito e de qualidade.

Ao CNPq, pela concessão da bolsa de estudos.

A todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a conquista desta importante etapa de minha vida, muito obrigado!



*“A maravilhosa disposição e harmonia do universo só pode ter tido origem segundo um plano de um Ser que tudo pode e tudo sabe. Esta fica sendo minha última e mais elevada descoberta.”*

**Isaac Newton**

## RESUMO

A semeadura direta (SD) e o preparo convencional (PC) são dois tipos de manejo contrastantes quanto aos seus efeitos sobre as características do solo. A pesquisa foi realizada em um experimento sobre um Cambissolo Húmico que foi conduzida por 22 anos sob SD e PC. Objetivou-se avaliar as alterações sobre as características e propriedades do solo e o desempenho de culturas no tratamento PC após dezoito meses de mudança de manejo deste tratamento para a condição de SD, comparado com a SD já consolidada em um delineamento inteiramente casualizado com oito repetições. Amostras do solo foram coletadas nas camadas 0-2,5, 2,5-5,0, 5-10 e 10-20 cm para avaliar a densidade do solo, porosidade, estabilidade de agregados em água, retenção de água, infiltração, pH em água, Al, Ca, Mg, K e P, e COT, enquanto matéria seca da parte aérea das culturas de inverno e massa seca de raízes, volume de raízes, massa de grãos, produtividade e índice de colheita da cultura do milho serviram para avaliar o desempenho agronômico nos dois tratamentos. Com isso, foram comparados os tratamentos semeadura direta implantada sobre o PC (SDi) e semeadura direta consolidada (SDc), ambos na presença e ausência do fator ureia. Verificou-se um gradiente crescente em profundidade da densidade do solo na SDc, enquanto na SDi este atributo se mostrou homogêneo nas camadas avaliadas. Após a mudança de manejo, a SDi apresentou maior DMP comparado ao estado anterior à mudança, tendendo a aproximar-se do estado atual da SDc. A SDi apresentou maior infiltração de água no solo do que a SDc. Quanto aos atributos químicos, verificou-se gradiente crescente de pH em profundidade na SDc, enquanto na SDi constatou-se valores homogêneos deste atributo nas camadas avaliadas. Os teores de Al trocável foram menores na SDc em relação à SDi. A SDc apresentou gradiente decrescente de P e K em profundidade, enquanto na SDi, apenas o K apresentou maior concentração na camada superficial do solo. Não se verificou gradiente de concentração de Ca e Mg nas camadas avaliadas entre a SDi e a SDc, no entanto, a SDi apresentou valores médios inferiores à SDc destes nutrientes. A massa seca e o volume de raízes e a massa seca da parte aérea do milho foram afetadas pelo manejo do solo e pela ureia, tendo sido maiores na SDc na presença da ureia do que na SDi na ausência do fertilizante. Assim, conclusivamente, o manejo do solo por 22 anos na forma PC afetou as características físicas e químicas do solo em comparação à SD, de modo que, ao ser modificado o PC para a condição de semeadura direta (SDi) este não conseguiu igualar-se ao tratamento semeadura direta consolidada no referido tempo (SDc), nem quanto aos atributos do solo, nem quanto ao desempenho das culturas.

**Palavras-chave:** preparo do solo, semeadura direta, preparo convencional.



## ABSTRACT

No-tillage (NT) and conventional tillage (CT) systems are two contrasting types of management in terms of their effects on soil characteristics. The research was conducted on a Haplumbrept soil, that was conducted for 22 years under NT and CT. The objective of this study was to evaluate soil recovery and crop performance in CT treatment after eighteen months of management change for NT, compared to NT already consolidated in a completely randomized design with eight replicates. Soil samples were collected in the 0-2.5, 2.5-5.0, 5-10 and 10-20 cm layers to evaluate soil density, porosity, aggregate stability in water (MWD), water retention, infiltration, pH in water, Al, Ca, Mg, K and P, while aerial and root dry matter, root volume, grain mass, yield and crop harvest index served to evaluate their performance. Thus, we compared the no-tillage system implanted over the CT (NTi) and consolidated no-tillage treatment that was denominated (NTc), both in the presence and absence of the urea factor. There was an increasing gradient in depth of soil density in the NTc, while in NTi this attribute was homogeneous in the evaluated layers. After the change in management, NTi presented higher MWD compared to the state before the change, tending to approach the current state of NTc. The NTi presented greater infiltration of water in the soil than the NTc. As for the chemical attributes, there was an increasing gradient of pH in depth in the NTc, while in the NTi, homogeneous values of this attribute were found in the evaluated layers. Al exchangeable contents were lower in NTc compared to NTi. NTc showed a gradient of P and K in depth, while in NTi, only K had the highest concentration in the soil surface layer. There was no gradient of Ca and Mg concentration in the layers evaluated between NTi and NTc, however, NTi presented lower mean NTi values of these nutrients. The dry mass and root volume and the dry mass of the aerial part of the maize were affected by soil management and urea factor, were higher in NTc in the presence of urea than in NTi in the absence of nitrogen fertilizer. In conclusion, soil management conducted under CT for 22 years affected the physical and chemical characteristics of the soil in comparison to NT. So that, when the CT was modified for the no-tillage condition (NTi), it was not able to match the no-tillage treatment consolidated at that time (NTc), neither as to the attributes of the soil, nor as to the performance of the crops.

**Keywords:** Soil management, No-tillage, Conventional tillage.



## **LISTA DE ILUSTRAÇÕES**

Figura 1 - Croqui dos tratamentos distribuídos na área experimental atualmente.... 37

Figura 2 – Esquema representativo da coleta das plantas na cultura do milho ..... 41

Figura 3 – Infiltração de água no solo (i) na semeadura direta implantada (SDi) e semeadura direta consolidada (SDc) em um Cambissolo Húmico, determinadas em julho de 2018. Média de três repetições de cada tratamento..... 52

Figura 4 – Aspecto visual das raízes de milho na SDi sem ureia à esquerda; e na SDc sem ureia à direita ..... 59

Figura 5 - Produção de massa seca de Crotalária, Aveia/Ervilhaca/Nabo no ano de 2017 (A/E/N1) e 2018 (A/E/N2) na semeadura direta consolidada (SDc) e semeadura direta implantada (SDi). Letras iguais em cada cultivo não diferem entre si pelo teste F a 5% ..... 61



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Valores de densidade do solo (Ds), porosidade total (Pt), macroporosidade (Ma) e microporosidade (Mi) nas amostras de solo coletadas em março de 2018 nos diferentes manejos. ....	46
Tabela 2 - Coeficiente de correlação de Pearson entre os atributos físicos do solo. ....	48
Tabela 3 – Valores de diâmetro médio ponderado (DMP), densidade de partículas (Dp), Umidade na capacidade de campo (Ucc) e porosidade de aeração (Pa) nas amostras de solo coletadas em março de 2018 nos diferentes manejos .....	50
Tabela 4 – Valores de pH em água, Al trocável, CTC efetiva e COT nas amostras de solo coletadas em março de 2018 nos diferentes manejos.....	53
Tabela 5 - Teores de K, P, Ca e Mg nas amostras de solo coletadas em março de 2018 nos diferentes manejos. ....	55
Tabela 6 - Atributos agronômicos da cultura do milho: matéria seca da parte aérea (MSPA), massa seca de raízes (MSR), volume de raízes (VR), massa de mil grãos (MMG), produtividade (PROD) e índice de colheita (IC).....	58



## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	20
2 REFERENCIAL TEÓRICO .....	22
2.1 EFEITOS DO SISTEMA DE MANEJO DO SOLO.....	23
2.1.1 Atributos físicos do solo .....	23
2.1.2 Atributos químicos do solo.....	26
2.1.3 Rendimento das culturas .....	28
3 HIPÓTESES .....	32
4 OBJETIVOS.....	34
4.1 GERAL.....	34
4.2 ESPECÍFICOS .....	34
5 MATERIAL E MÉTODOS .....	36
5.1 LOCALIZAÇÃO E DESCRIÇÃO DO EXPERIMENTO .....	36
5.2 HISTÓRICO DA ÁREA EXPERIMENTAL .....	36
5.3 TRATAMENTOS E DELINEAMENTO EXPERIMENTAL .....	37
5.4 MANEJO E TRATOS CULTURAIS ADOTADOS DURANTE A PESQUISA ...	38
5.5 COLETA DE AMOSTRAS DO SOLO.....	39
5.5.1 Atributos físicos determinados no solo .....	39
5.5.2 Atributos químicos determinados no solo .....	40
5.5.3 Atributos determinados nas culturas agrícolas .....	41
6 ANÁLISES ESTATÍSTICAS.....	44
7 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	46
7.1 Atributos físicos do solo .....	46
7.2 Atributos químicos do solo .....	53
7.3 Atributos agronômicos das culturas .....	58
8 CONCLUSÕES.....	62
9 REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICAS.....	64



## 1 INTRODUÇÃO

O solo é um recurso natural indispensável à manutenção da vida em nosso planeta, com a capacidade de sustentar diversos ecossistemas naturais encontrados na terra e viabilizar a exploração agrícola pelo homem, a fim de atender a demanda atual de alimentos. Dentre as múltiplas funções que o solo exerce na natureza, estão o suprimento de água e nutrientes às comunidades vegetais e a regulação do estoque de carbono no ambiente que se constitui num dos principais reservatórios deste elemento na natureza.

As modificações efetuadas sobre os ecossistemas naturais para a implantação e exploração dos cultivos agrícolas altera as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo em relação à sua condição original. Essas alterações estão relacionadas ao modelo de manejo a que o solo é submetido e têm impacto sobre a capacidade produtiva e a funcionalidade do solo ao longo do tempo.

O preparo do solo é notadamente a principal operação de manejo responsável pelas alterações provocadas na estrutura do solo. O preparo convencional, amplamente utilizado por agricultores brasileiros até meados da década de 70, se caracteriza pelo intenso revolvimento mecânico do solo por meio de operações de aração e gradagem antes da semeadura das culturas. Assim, rompe mecanicamente os agregados, compacta a camada abaixo da superfície e diminui o estoque de carbono e a infiltração de água no solo. Esses efeitos acentuam a susceptibilidade do solo à erosão hídrica, compromete sua fertilidade e viabilidade de uso, degrada e torna insustentável a exploração do solo ao longo do tempo.

Na tentativa de mitigar os efeitos negativos produzidos no solo pelo preparo convencional, a pesquisa em conservação do solo vem direcionando seus esforços no desenvolvimento de manejos conservacionista que preservem a qualidade produtiva das terras agrícolas e torne sustentável o seu uso para as gerações futuras. Assim, a semeadura direta contempla vários benefícios, embora nem todos, que atenuam os efeitos negativos do preparo convencional, principalmente a erosão hídrica, e melhora o desempenho das culturas.

Com esta pesquisa objetivou-se avaliar as modificações provocadas nas características e propriedades físicas e químicas do solo e sobre o desempenho e rendimento das culturas agrícolas, em um Cambissolo Húmico alumínico léptico, após a mudança de preparo de solo do tratamento que foi conduzido por 22 anos sob

preparo convencional para a semeadura direta, comparado ainda à semeadura direta consolidada conduzida pelo mesmo período de tempo.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

A alta demanda mundial por produção de alimentos e o forte apelo da opinião pública sobre a conservação ambiental dos recursos naturais preconizam o cultivo sustentável dos solos, de modo a atender as necessidades presentes sem comprometer o potencial produtivo do solo para as futuras gerações. Para isso, práticas racionais de manejo e uso das terras devem permitir rendimentos economicamente viáveis e ambientalmente sustentáveis, que só serão possíveis preservando a boa fertilidade e qualidade do solo.(Cardoso et al, 2013).

O preparo do solo para o cultivo das culturas agrícolas é uma das operações de manejo capaz de modificar as propriedades físicas do solo comparados a condição não cultivada, em seu estado natural não antropizado. As alterações são mais pronunciadas nos sistemas convencionais de preparo em relação aos sistemas conservacionistas de manejo do solo (Bertol et al., 2004).

O preparo convencional do solo (PC), sistema de preparo amplamente utilizado por agricultores na região sul do país entre as décadas de 1960 e 1970, impulsionou a degradação dos solos pela pulverização superficial, pela diminuição dos estoques de matéria orgânica, pela compactação e pelo subsequente processo erosivo que afetou a sustentabilidade dos sistemas agrícolas, refletindo-se no declínio da produtividade das culturas. Com o objetivo de mitigar os efeitos negativos produzidos por este manejo, novos sistemas de orientação conservacionista como o cultivo mínimo e a semeadura direta (SD) vem sendo desenvolvidos para as condições subtropicais visando diminuir a mobilização do solo e otimizar as condições de produção (Llanillo et al, 2006).

Os preparamos de solo conservacionistas, notadamente a SD, é um sistema de produção agropecuário em que se evita a perturbação do solo e se mantém a superfície sempre recoberta por resíduos vegetais, favorecendo a manutenção de sua qualidade estrutural e funcional (Vezzani & Mielniczuk, 2009). O não revolvimento do solo e a adição dos resíduos das culturas na superfície do solo na SD desencadeia inúmeros processos físicos, químicos e biológicos fortemente inter-relacionados, geralmente sinérgicos entre si, como é o caso dos processos que levam ao aumento da estabilidade de agregados e dos estoques de matéria orgânica do solo. (Costa et al., 2004).

As modificações ocasionadas na estrutura e fertilidade dos solos diante da utilização de diversos manejos pode ser avaliada segundo indicadores da qualidade física e química do solo. Segundo Doran e Parkin (1994), os atributos indicadores da qualidade do solo são definidos como propriedades mensuráveis que influenciam a capacidade do solo na produção das culturas ou no desempenho de funções ambientais. A mensuração das alterações provocadas nos atributos do solo pelos sistemas de uso e manejo, podem fornecer subsídios importantes para a definição de sistemas racionais de manejo, contribuindo assim para tornar o solo menos suscetível à perda de sua capacidade produtiva.

Atributos responsivos às ações naturais ou antropogênicas são considerados bons atributos indicadores da qualidade do solo. Entre os indicadores físicos, tem-se utilizado a densidade, porosidade, o estado de agregação do solo e a capacidade de infiltração de água, enquanto entre os indicadores químicos estão o carbono orgânico total, pH, nutrientes minerais e a capacidade de troca catiônica do solo (Cardoso et al., 2013).

## 2.1 EFEITOS DO SISTEMA DE MANEJO DO SOLO

### 2.1.1 Atributos físicos do solo

As principais características físicas responsáveis pela porosidade e infiltração de água no solo são a textura e a estrutura. A degradação da estrutura causa perda de condições favoráveis ao desenvolvimento vegetal e predispõe o solo à erosão hídrica acelerada. A condição estrutural que o solo se apresenta pode ser analisada segundo dois aspectos: avaliação de parâmetros relacionados a forma da estrutura, como a densidade e porosidade; e avaliações relacionadas à estabilidade da estrutura. (Albuquerque et al., 1995).

Os diferentes sistemas de manejo e preparo do solo produzem modificações distintas na estrutura do solo. Os solos cultivados sob SD geralmente apresentam maior densidade do solo, menor porosidade total e macroporosidade nas camadas superficiais do solo em relação ao PC (Bertol et al., 2000; Hickmann et al., 2012; Secco et al., 2005) devido à ausência de mobilização do solo e a pressão mecânica exercida sobre a superfície pelo tráfego de máquinas.

No entanto, o gradual acúmulo de matéria orgânica sobre a superfície do solo na SD ao longo do tempo pode melhorar a qualidade estrutural dos solos cultivados neste sistema de manejo. Assis & Lanças, (2005) e Andrade et al., (2010) observaram valores de densidade do solo significativamente menores na camada superficial da SD após doze anos de implantação deste sistema, com reflexos positivos na porosidade total e macroporosidade comparados ao PC. Estes autores atribuíram estas diferenças encontradas aos maiores estoques de carbono orgânico presentes na camada superficial da SD, que favoreceram a melhor estruturação do solo. Efeitos positivos promovidos pela matéria orgânica também foram constatados por Silva et al., (2006) que verificaram correlação negativa entre a densidade do solo e os teores de matéria orgânica em diferentes sistemas de manejo.

A formação e a estabilidade de agregados são outros parâmetros que podem ser utilizados para medir a qualidade do solo, pois a manutenção da estrutura do solo facilita a aeração e infiltração de água e reduz a susceptibilidade do solo à erosão. A estabilidade dos agregados no solo é influenciada por diversos fatores, como a textura, o conteúdo de óxidos de ferro e alumínio, teor de matéria orgânica, atividade microbiana e o manejo que o solo é submetido. (Neves et al., 2006).

Tem-se verificado frequentemente aumento na estabilidade de agregados nos manejos conservacionistas do solo em relação aos convencionais. D'andréa et al., (2002); Castro Filho et al., (1998) e Flores et al., (2008); observaram que o maior acúmulo de carbono orgânico (C-orgânico) na camada superficial do solo conduzidos sob SD correlacionaram-se positivamente com o DMP e DMG do solo. Estes autores verificaram correlações positivas entre os teores de C-orgânico e agregados maiores que 2 mm e correlação negativa com agregados menores que 0,25 mm, resultando em valores mais altos do DMP na camada superior da SD comparativamente ao PC.

Outros autores (Albuquerque et al., 2005) também verificaram maior acúmulo de matéria orgânica na camada superficial do solo conduzido sob preparo reduzido (PR) comparado ao PC, no entanto não verificaram correlação entre o teor de C-orgânico e o DMP. Estes autores justificam tal comportamento ao curto período de utilização dos diferentes manejos, e a participação efetiva de outros agentes cimentantes encontrados no solo, como minerais com cargas negativas permanentes e dependentes de pH, óxidos de ferro e a presença de Al trocável, que apresentou correlação positiva com o DMP.

Silva & Mielniczuk (1998) objetivando avaliar a estabilidade e agregação do solo sob diferentes sistemas de cultivo em um Latossolo Roxo e em um Podzólico Vermelho-escuro também verificaram efeitos positivos na agregação de outros componentes além da matéria orgânica na cimentação dos agregados, como os diferentes teores de óxidos de ferro e alumínio e os distintos teores de argila entre os solos estudados.

O comportamento físico-hídrico também é essencial nos estudos de qualidade do solo. As modificações na estrutura do solo ocasionadas por práticas de manejo que se refletem na densidade do solo, acúmulo de matéria orgânica e na estabilidade de agregados, alteram a dinâmica da distribuição e do tamanho de poros, bem como a retenção, o movimento e a disponibilidade de água no solo. Além do manejo, características pedogenéticas, como a textura e a mineralogia das argilas também influenciam a retenção de água, sendo geralmente maior em solos argilosos comparativamente aos arenosos (Machado et al., 2008; Silva et al., 2005).

Dalmago et al., (2009) avaliando a retenção e disponibilidade de água em SD e PC em um Argissolo Vermelho distrófico verificaram menor Ds na camada 0 – 7,5 cm e maior volume de mesoporos na SD em relação ao PC, atribuindo esta tendência ao maior acúmulo de matéria orgânica nesta camada na SD. Esta característica traduziu-se em maior retenção e conteúdo de água disponível às plantas na camada superficial do solo na SD em relação ao PC. Entretanto, outros autores (Silva et al., 2005 e Flores et al., 2008) não verificaram diferenças na retenção e disponibilidade de água entre estes dois manejos.

Os efeitos da textura e da densidade do solo na retenção e disponibilidade de água foram observados por Beutler et al., (2002), que estudando as características físico-hídricas de um Latossolo Vermelho distrófico (LVd) e um Latossolo Vermelho eutroférrico (LVef) sob dois sistemas de cultivo comparados à mata nativa, verificaram maior retenção de água em todas as tensões avaliadas no LVef em relação ao LVd. Esta característica foi atribuída ao maior teor de argila no LVef e a mineralogia oxídica presente neste solo, que contribuiu para uma distribuição de poros mais uniforme e maior área superficial específica do solo, proporcionando maior adsorção de água nesta condição. No entanto, esta característica não se traduziu em maior volume de água disponível às plantas pela maior retenção da água à altas tensões no LVef comparado ao LVd. A Ds foi o atributo que mais teve influência na retenção de água

em cada solo, sendo significativamente maior nos solos cultivados em relação à mata, correlacionando-se positivamente com a retenção e disponibilidade de água do solo.

Analizando o efeito dos sistemas de manejo SD e PC nas taxas de infiltração de água, verifica-se que geralmente esta é maior na SD em relação ao PC. ( Assis & Lanças 2005; Alves Sobrinho et al., 2003; Gonçalves & Moraes, 2012, Barcelos et al., 1999). Em muitas situações, verifica-se que a macroporosidade na SD é menor que no PC, o que tenderia a contribuir para a menor capacidade de infiltração de água na SD. No entanto, segundo estes autores, a manutenção dos resíduos vegetais sobre a superfície do solo na SD é um dos principais motivos das maiores taxas de infiltração verificadas neste manejo, pois esta condição contribui para dissipar a energia cinética das chuvas e diminuir o selamento superficial do solo. Outra contribuição importante da ausência de mobilização do solo neste sistema é a formação e a continuidade dos bioporos formados no interior do solo, promovidos em grande parte pela fauna do solo e decomposição das raízes das culturas agrícolas, fato não observado no PC pela periódica mobilização do solo.

Outros pesquisadores ( Albuquerque et al., 2001) não verificaram maiores taxas de infiltração na SD, enquanto (Silva et al., 2005; Bertol et al., 2001) verificaram maiores valores de condutividade hidráulica no PC comparativamente à SD. Estes autores atribuíram tal comportamento à maior macroporosidade e menor densidade do solo produzidos pelas operações mecânicas de preparo realizadas no PC. No entanto, o período de adoção da SD pode interferir nas propriedades físico-hídricas do solo, como foi observado por Assis & Lanças (2005), que verificaram que a SD somente apresentou maiores valores de condutividade hidráulica que o PC após doze anos de adoção deste sistema.

### 2.1.2 Atributos químicos do solo

Os diferentes tipos de preparo do solo podem alterar a dinâmica e o gradiente de nutrientes e matéria orgânica entre as camadas do perfil cultivável do solo. Tem sido verificado frequentemente maiores estoques de carbono orgânico nas camadas superficiais nos solos conduzidos sob SD em relação ao PC (Bayer & Bertol, 1999; Hickmann & Costa, 2012; Andrade et al., 2012; Costa et al., 2004). Segundo Dieckow et al., (2004), a utilização de manejos de solo de orientação conservacionista, tal como a SD, são capazes de proporcionar proteção física à fração orgânica do solo pela

formação e estabilidade de agregados estruturais neste manejo. Esta proteção se dá tanto pela redução da taxa de difusão de oxigênio para o interior dos agregados, diminuindo assim os processos oxidativos sobre a matéria orgânica, quanto pela barreira física formada, que dificulta o acesso dos microrganismos ao substrato orgânico. A destruição dos agregados causada pelas operações de preparo mecânico do solo realizadas no PC aumenta a exposição da matéria orgânica à ação dos microrganismos e suas enzimas, cuja atividade encontra-se intensificada em função das condições mais oxidadas do ambiente. A consequência da utilização do PC é a diminuição dos estoques de carbono comparativamente à SD.

Os maiores estoques de matéria orgânica observados na SD promovem diversos benefícios sobre a fertilidade química do solo. Menores valores de Al trocável têm sido observados nas camadas superficiais do sistema SD por diversos autores em relação ao PC (Salet, 1994, Ciotta et al., 2002, Santos & Tomm 2003). O maior acúmulo de matéria orgânica na SD favorece a formação de complexos organometálicos com cátions ácidos do solo, a exemplo do alumínio, diminuindo a atividade deste elemento na solução do solo e sua toxidez às plantas.

Outra contribuição importante da matéria orgânica está na geração de cargas elétricas negativas nos solos. Segundo Raij (2011), os solos com predomínio de cargas negativas dependentes de pH no Brasil apresentam baixa fertilidade natural e capacidade de troca de cátions (CTC) da fração mineral, sendo a matéria orgânica capaz de aumentar em até 80% a CTC efetiva dos solos mesmo sendo os teores da fração orgânica muito menores que os teores de argila no solo. Souza & Alves, (2003) e Campos et al., (2011) observaram valores significativamente mais altos de CTC efetiva nas camadas superficiais do solo nos tratamentos conduzidos sob SD comparados ao PC. Esta condição traduziu-se em maior saturação e soma de bases na SD, fato atribuído a adsorção de cátions básicos à fase sólida do solo e menores perdas por lixiviação na SD.

A matéria orgânica representa ainda uma importante fonte de vários nutrientes essenciais às plantas, principalmente de N, P e S, que podem ser liberados por ocasião da decomposição pelos microrganismos do solo. Dentre estes nutrientes, o N assume maior importância neste contexto, uma vez que das formas inorgânicas existentes no solo, verifica-se predominância de nitrato em solos bem drenados. O nitrato, por ter carga negativa é repelido pela superfície negativa das partículas de

solo, permanecendo em solução, sendo muito móvel no solo e suscetível à lixiviação. (Raij, 2011).

A dinâmica dos nutrientes minerais apresenta características distintas em relação a concentração e distribuição entre as camadas de solo na SD e PC. Santos & Tomm (2003), ao estudarem a dinâmica e a disponibilidade de nutrientes em diferentes sistemas de manejo do solo, após oito anos de cultivo em um Latossolo Vermelho Distrófico típico, constataram que os teores de P extraível do solo nas camadas superficiais (0-5 cm) foram maiores nos sistemas conduzidos sob SD comparados ao PC. Este acúmulo foi justificado pelas adições anuais de adubos fosfatados, pela liberação de P da fração orgânica do solo via decomposição biológica, e pela menor sorção de P aos constituintes inorgânicos do solo, uma vez que não há revolvimento do solo na SD, resultando em maior disponibilidade de fósforo na solução do solo nesta camada, comparadas ao sistema de PC.

Corroborando os dados obtidos por Santos & Tomm (2003), Almeida et. al., (2005) avaliando o efeito de dois sistemas de manejo, PC e SD, em um Cambissolo Húmico aluminico léptico, constatou maiores teores nas camadas superficiais de P e K no sistema conduzido sob SD. A aplicação superficial e em linha, sem incorporação dos adubos que contêm estes nutrientes, favorecem a maior concentração destes elementos na camada superficial, gerando um gradiente decrescente em profundidade destes nutrientes ao longo da camada cultivada do solo.

### 2.1.3 Rendimento das culturas

Os diferentes sistemas de manejo do solo também são capazes de afetar o desempenho e rendimento de grãos das culturas agrícolas. Santos et al., (2003) objetivando avaliar o efeito de sistemas de manejo de solo e de rotação de culturas no rendimento de grãos da cultura do milho em um experimento de longa duração conduzidos sob um Latossolo Vermelho distrófico típico, verificou que o rendimento do milho na SD foi superior ao PC realizado com arado de disco e arado de aveicas em quatro safras consecutivas após doze anos da implantação do experimento. Estes autores verificaram que o principal componente de rendimento do milho afetado pelo manejo do solo foi o peso de 1000 grãos, em que este foi significativamente maior na SD (334g) em relação ao PC (317g). O melhor desempenho desta cultura na SD foi atribuído em grande parte a manutenção dos resíduos culturais sobre a superfície do

solo neste sistema, que otimizou a capacidade de infiltração e conservação da água no solo.

Costa et al., (2003) também verificaram maiores rendimentos de grãos nos sistemas conduzidos sob SD em um período de 22 anos de cultivo comparado ao PC. Estes autores verificaram que as culturas da soja (18 safras) e do milho (4 safras) apresentaram rendimento de grãos acumulado de 42% e 22% maiores na SD que no PC, respectivamente. Considerando que não houve ocorrência de fator químico limitante ao desenvolvimento vegetal no PC, estes autores justificam os maiores rendimentos obtidos na SD pelo melhor regime hídrico apresentado por este manejo, que aliadas a maior umidade volumétrica e temperaturas do solo mais amenas durante o crescimento e desenvolvimento das culturas, culminaram em maiores produtividades na SD.

Maior produtividade de grãos e de matéria seca da parte aérea da cultura do milho na SD também foram observadas por Fernandes et al., (1999) em relação ao PC, após oito anos de cultivo. Estes autores atribuíram o melhor desempenho do milho na SD pela melhoria nos atributos físicos, químicos e biológicos neste manejo. O maior teor de matéria orgânica na camada de 0 – 7,5 cm na SD favoreceu uma maior quantidade de nitrogênio imobilizado na biomassa microbiana, tornando a reciclagem desse nutriente mais vagarosa, porém mais eficiente, otimizando a sincronicidade de mineralização e absorção deste nutriente pelo milho na SD.

Outros autores ( Pauletti et al., 2003 e Bayer et al., 1998) não verificaram diferenças significativas no rendimento de grãos da cultura do milho entre a SD e o PC. No entanto, os autores enfatizam que pode-se obter benefícios adicionais de conservação do solo com a adoção da SD.

O nitrogênio é o nutriente requerido em maiores quantidades pela cultura do milho, interferindo em diversas características da planta relacionadas ao crescimento e desenvolvimento, as quais, direta ou indiretamente, influenciam a produtividade da cultura (Kappes, et al., 2013). Segundo Büll (1993), a adubação nitrogenada é capaz de aumentar o índice de área foliar, a massa de 1000 grãos, a produção de biomassa e o índice de colheita na cultura do milho, ressaltando que a aplicação de N também pode influenciar indiretamente a nutrição da planta, havendo maior absorção de outros nutrientes em razão da exploração de maior volume de solo pelo aumento do sistema radicular.

O nitrogênio é um dos elementos mais influenciados pelo sistema SD, pois com a adição constante e manutenção dos resíduos vegetais sobre a superfície do solo, processos de imobilização, mineralização e lixiviação são alterados. No sistema SD, a decomposição dos resíduos vegetais é mais lenta, uma vez que o contato fica restrito à interface entre o solo e os resíduos, diminuindo o acesso da comunidade microbiana heterotrófica à fração orgânica presente na superfície do solo (Aita, et al., 2014)

A menor taxa de decomposição dos resíduos vegetais na SD também pode favorecer o sincronismo entre a taxa de liberação de nitrogênio para o solo e a taxa de absorção deste nutriente pela planta. Quanto mais harmoniosa esta relação, maior será o aproveitamento do nitrogênio da fração orgânica pelas culturas agrícolas (Castoldi, et al., 2012).



### **3 HIPÓTESES**

1. A implantação da semeadura direta em área cultivada na forma de preparo convencional por 22 anos resulta em melhoria das propriedades e características físicas e químicas do solo na camada arável em comparação aos valores verificados historicamente quando o manejo do solo era o preparo convencional.
2. A mudança de manejo do solo da forma preparo convencional para a forma semeadura direta proporciona aumento da infiltração de água no solo pela manutenção dos resíduos culturais sobre a superfície.
3. Após 18 meses de adoção da semeadura direta em área que foi conduzida por 22 anos na forma de preparo convencional estabelece-se gradiente de concentração de nutrientes, especialmente de fósforo e potássio, com os maiores valores na superfície do solo em relação às camadas inferiores.



## 4 OBJETIVOS

### 4.1 GERAL

Avaliar a alteração das propriedades e características do solo em um Cambissolo Húmico conduzido por 22 anos sob PC após conversão do manejo deste tratamento para a SD, denominado de semeadura direta implantada (SDi), comparado ainda a SD já consolidada pelo mesmo período de tempo, denominado de semeadura direta consolidada (SDc).

### 4.2 ESPECÍFICOS

Determinar o efeito da mudança de preparo do solo ao final de 18 meses de implantação da SDi sobre os atributos físicos do solo (estabilidade de agregados, densidade e porosidade do solo, na infiltração de água no solo e retenção de água na capacidade de campo) e atributos químicos do solo ( pH, Al trocável, P, K, Ca, Mg).

Avaliar o efeito da mudança de preparo de solo sobre a produção de matéria seca da Crotalária e das culturas de cobertura de outono/inverno, assim como no desempenho dos atributos agronômicos e no rendimento de grãos da cultura do milho.



## 5 MATERIAL E MÉTODOS

### 5.1 LOCALIZAÇÃO E DESCRIÇÃO DO EXPERIMENTO

O experimento está localizado em Lages SC, situada a 27° 49' de latitude sul e 50° 20' de longitude Oeste, com altitude de 937m. O clima é caracterizado como Cfb segundo Köppen, com temperatura máxima média anual de 27°C e mínima média anual de 11,5°C. A precipitação pluvial média anual é de 1533 mm (Schick et al., 2014). O solo é originado de siltitos e argilitos e é classificado como Cambissolo Húmico alumínico léptico, contendo em média 443 g kg<sup>-1</sup> de argila, 402 g kg<sup>-1</sup> de silte e 155 g kg<sup>-1</sup> de areia na camada de 0-30cm (Bertol et al., 2004); apresentando composição textural argilo-siltosa segundo a classificação USDA.

### 5.2 HISTÓRICO DA ÁREA EXPERIMENTAL

O experimento foi inicialmente instalado no ano de 1995, sob condição inicial de campo nativo. A sistematização prévia do terreno foi realizada efetuando-se a calagem, fosfatagem e potassagem, com aplicação de calcário dolomítico, superfosfato triplo e cloreto de potássio, nas doses de 3,9 Mg ha<sup>-1</sup>; 125 kg ha<sup>-1</sup> e 100 kg ha<sup>-1</sup> respectivamente. Os fertilizantes e corretivos foram incorporados ao solo com uma aração e duas gradagens a uma profundidade de 20 cm em toda a extensão da área experimental (Bertol et al., 2000).

Historicamente, o experimento objetivou o estudo de dois tipos de preparo de solo como tratamentos principais: preparo convencional (PC) e semeadura direta (SD), e duas formas de cultivo como tratamentos secundários: cultivo em rotação e em sucessão de culturas. O PC era tradicionalmente realizado uma vez ao ano, através de operações de aração e gradagens imediatamente antes da semeadura das culturas de primavera/verão, enquanto a SD é realizada com a utilização de semeadoras de precisão sem o revolvimento prévio do solo, excetuando-se a linha de semeadura. A semeadura das culturas de outono/inverno, na semeadura direta, era realizada a lanço e incorporada à camada superficial por uma gradagem leve, enquanto no preparo convencional, o solo permanecia em pousio após o preparo do solo nesta época.

Os tratamentos secundários foram assim conduzidos até o ano de 2012 em que eram utilizadas as sequências de espécies vegetais de feijão / pousio / milho / pousio

/ soja / pousio no PC em rotação, milho / pousio no PC em sucessão, feijão / aveia / milho / nabo / soja / ervilhaca na SD em rotação e milho / ervilhaca na SD em sucessão (Andrade et al., 2012). As pesquisas e o manejo da área experimental subsequentes a esse período preservaram os tratamentos principais como objeto de estudo, enquanto os diferentes modelos de cultivo foram descartados, tendo sido os cultivos de outono/inverno se tornado comuns a todas as unidades experimentais.

Em outubro de 2016, realizou-se a semeadura de Crotalária juncea como cultura de primavera/verão em toda a área experimental, sistematizando toda a extensão do terreno. No momento do estabelecimento da cultura, realizou-se o último preparo mecânico do solo nos tratamentos anteriormente conduzidos sob PC, sucedendo-se neste momento a implantação da semeadura direta como manejo do solo neste tratamento, marcando o início da presente pesquisa.

### 5.3 TRATAMENTOS E DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

Os tratamentos foram compostos por dois métodos de preparo do solo: o PC sucedido pela SD, denominada semeadura direta implantada (SDi) e a SD sucedida pela SD, denominada semeadura direta consolidada (SDc), avaliados em quatro profundidades do solo. O experimento está disposto em um delineamento inteiramente casualizado, com 8 repetições, visualizado na figura 1. Cada unidade experimental contém 6,5 m de largura e 18 m de comprimento

**Figura 1** - Croqui dos tratamentos distribuídos na área experimental atualmente.

SDi	SDi	SDi	SDi
SDc	SDc	SDc	SDc
SDc	SDc	SDi	SDi
SDc	SDc	SDi	SDi

SDi = Semeadura direta implantada; SDc = Semeadura direta consolidada. A área hachurada corresponde as parcelas que receberam ureia em cobertura na cultura do milho.

A cultura do milho foi submetida a duas condições de preparo de solo: SDc e SDi e duas condições de adubação nitrogenada em cobertura: com a presença de ureia e ausência de ureia, compondo um delineamento fatorial 2x2 com 4 repetições.

## 5.4 MANEJO E TRATOS CULTURAIS ADOTADOS DURANTE A PESQUISA

O manejo das culturas agrícolas cultivadas durante o desenvolvimento da pesquisa contemplou dois cultivos de primavera/verão e dois cultivos de outono/inverno comuns a todos os tratamentos. O primeiro cultivo de verão e os dois cultivos de inverno foram semeados a lanço e incorporados com uma gradagem leve, não sendo realizada adubação mineral nestas ocasiões.

O primeiro cultivo realizou-se em outubro de 2016 com a semeadura de Crotalária juncea em toda a área experimental, sendo manejada ao final de sua maturação com o rolo-faca, promovendo o tombamento de sua biomassa. Os dois cultivos de outono/inverno: o primeiro semeado em março de 2017 e o segundo em junho de 2018, consistiram em um consórcio das culturas de Aveia preta (*Avena sativa*), ervilhaca comum (*Vicia sativa*) e Nabo forrageiro (*Raphanus raphanistrum*) em toda a área experimental, nas densidades de semeadura de  $80\text{ kg ha}^{-1}$ ,  $45\text{ kg ha}^{-1}$  e  $15\text{ kg ha}^{-1}$ , respectivamente. Quando as culturas alcançaram a maturidade fisiológica, realizou-se a dessecação química da área com o produto comercial Roudup Original (Glyphosate) na dose de  $1,5\text{ L ha}^{-1}$ .

Em novembro de 2017 realizou-se a semeadura da cultura do milho. O genótipo utilizado foi o P2530 da Pionner, sendo um híbrido simples, convencional e de ciclo superprecoce. A semeadura foi realizada com a utilização de semeadora de precisão, com densidade de  $69.000\text{ sementes ha}^{-1}$ , com espaçamento entre-linhas de  $0,5\text{ m}$ . A adubação mineral de base, comum a todos os tratamentos, correspondeu a  $500\text{ kg ha}^{-1}$  da formulação  $09 - 33 - 12$ , equivalente a  $45\text{ kg ha}^{-1}$  de N,  $165\text{ Kg ha}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$  e  $60\text{ Kg ha}^{-1}$  de  $\text{K}_2\text{O}$ .

O controle de plantas daninhas em pós-emergência foi realizado no estádio fenológico V4 da cultura, utilizando-se uma mistura de dois herbicidas: Primóleo (Atrazina) e Soberan (Tembotriona) nas doses de  $5\text{ L ha}^{-1}$  e  $0,24\text{ L ha}^{-1}$  respectivamente.

A adubação nitrogenada em cobertura foi realizada no estádio V5 da cultura, suprida através da ureia em uma única aplicação a lanço, na dose de  $225\text{ Kg ha}^{-1}$  de N nos tratamentos previamente estabelecidos.

## 5.5 COLETA DE AMOSTRAS DO SOLO

As amostragens de solo foram realizadas em março de 2018 ao final da maturação da cultura do milho, realizando-se uma coleta em cada parcela, totalizando oito repetições de cada tratamento. As amostras foram coletadas nas camadas 0 - 2,5; 2,5 – 5,0; 5,0 – 10,0 e 10 – 20 cm. O intervalo de tempo compreendido entre a implantação da SDI sobre o PC e o momento em que foram coletadas as amostras de solo foi de 18 meses.

As amostras indeformadas foram coletadas com anéis volumétricos de 4,8 cm de diâmetro, 2,5 cm de altura para as duas camadas superiores e 5 cm de altura para as duas camadas inferiores de solo. As amostras deformadas foram coletadas com o uso de uma espátula, retirando-se uma porção de solo de cada camada amostrada.

As amostras com estrutura deformada foram submetidas a secagem em estufa com circulação de ar à 50°C sendo posteriormente peneiradas a 2 mm de diâmetro e acondicionadas em embalagens até o processamento. Estas amostras foram utilizadas para determinar os teores de Ca, Mg, K, P, Al, pH em água e COT das análises químicas, e para a determinação da Dp e estabilidade de agregados do solo das análises físicas do solo.

### 5.5.1 Atributos físicos determinados no solo

A densidade do solo (Ds) foi determinada nas amostras dos anéis volumétricos. Após as demais determinações terem sido satisfeitas, as amostras foram secas em estufa a 105 °C durante 48 horas. A determinação da Ds foi obtida pelo quociente entre a massa de solo seco e o volume conhecido do anel.

A microporosidade (Mi) do solo foi determinada em mesa de tensão de areia com sucção de 6 KPa, e a umidade na capacidade de campo (Ucc) à 10 KPa. A porosidade total (Pt) foi determinada pela razão entre a Ds e a densidade de partículas (Dp), segundo a equação:

$$Pt = 1 - \frac{Ds}{Dp}$$

A macroporosidade (Ma) foi obtida pela diferença entre a Pt e a Mi e a densidade de partículas (Dp) foi mensurada pelo método do balão volumétrico.

A porosidade de aeração (Pa) foi estimada pela diferença entre a Pt e a Ucc.

Nas amostras deformadas determinou-se a estabilidade de agregados em água pelo método da via úmida padrão (Kemper; Chepil, 1965) na qual agregados do solo com diâmetros entre 8 e 4,76 mm foram submersos em água e submetidos a oscilações verticais a 40 rpm por um período de 10 minutos em um conjunto de peneiras com abertura de malha de 4,76; 2; 1 e 0,25 mm. Com o material retido em cada peneira procedeu-se à secagem das amostras em estufa e pesagem separadamente, calculando-se o diâmetro médio ponderado dos agregados (DMP).

A taxa de infiltração de água no solo foi avaliada utilizando-se o método do infiltrômetro de anéis concêntricos com carga hidráulica variável, conforme o método descrito por Forsythe (1975). Para o ajuste do modelo de infiltração dos dados utilizou-se a equação exponencial de decaimento de Horton, expressa pela seguinte equação:

$$f = fc + (fo - fc)e^{-Ct}$$

Onde:  $f$  = taxa instantânea de infiltração de água,  $\text{mm h}^{-1}$ ,  $fo$  = taxa de infiltração no momento inicial,  $\text{mm h}^{-1}$ ,  $fc$  = taxa de infiltração constante ao final do teste,  $\text{mm h}^{-1}$ ,  $t$  = tempo de infiltração (min) e  $C$  o fator de ajuste da equação, dependente do tipo de solo e da condição de umidade inicial.

### 5.5.2 Atributos químicos determinados no solo

Ca e Mg foram extraídos com solução de KCl 1 mol L<sup>-1</sup> e determinados por espectrofotometria de absorção atômica, o Al trocável foi extraído com solução de KCl 1 mol L<sup>-1</sup> e determinado por titulometria de neutralização com solução de NaOH a 0,0125 mol L<sup>-1</sup>, P e K foram extraídos com solução ácida Melich-1, sendo o K determinado por fotometria de chama e P por calorimetria. A acidez ativa do solo foi determinada pelo pH em água na relação 1:1. Para a determinação do carbono orgânico total (COT) as amostras de solo foram maceradas em almofariz e peneiradas (malha de 0,053 mm) sendo analisadas por combustão seca a 950 °C no analisador TOC. Todas as determinações dos atributos químicos seguiram as metodologias propostas por Tedesco et al. (1995).

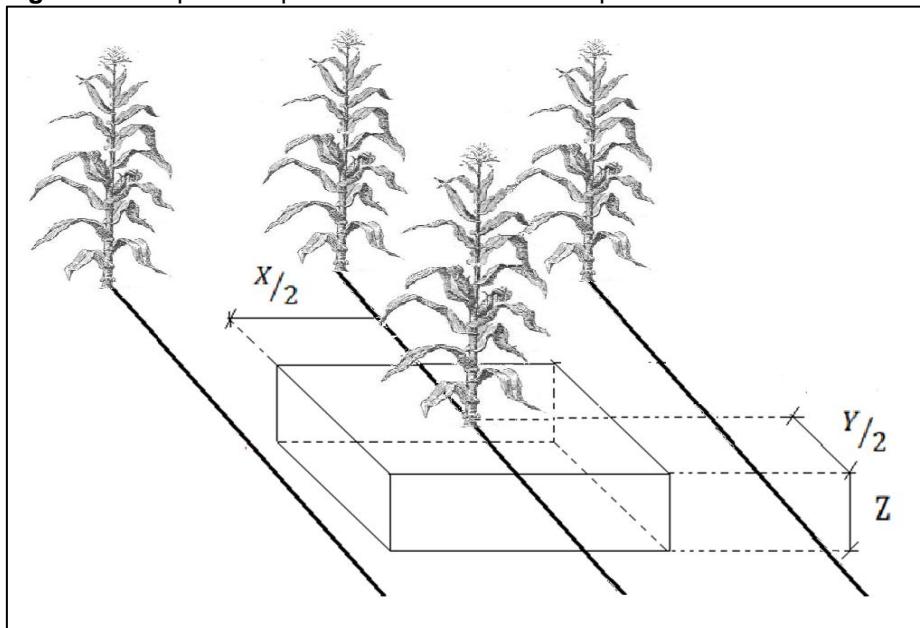
### 5.5.3 Atributos determinados nas culturas agrícolas

A determinação da produção de matéria seca da parte aérea da Crotalária e dos dois cultivos de inverno foi estimada no momento em que estas atingiram a maturidade fisiológica. Coletaram-se amostras de  $0,24\text{ m}^2$ , uma em cada parcela, com a utilização de um gabarito, secando-as em estufa a  $65^\circ\text{C}$  até atingirem peso constante.

Para a determinação do rendimento e da massa de grãos da cultura do milho, foram colhidas as espigas de quatro metros lineares em duas linhas de cultivo de cada parcela, equivalendo a uma área útil de coleta de  $4\text{ m}^2$  por parcela. As espigas coletadas foram debulhadas manualmente, pesando-as e padronizando a sua massa para umidade de 13%. A massa de mil grãos foi determinada pelo método manual de contagem de sementes.

Para a quantificação da parte aérea e das raízes da cultura do milho, coletaram-se duas plantas por parcela. Para efetuar a retirada das raízes com sua estrutura preservada, estabeleceu-se o volume individual que cada planta ocupava no terreno, conforme é mostrado na figura 2; X é o espaçamento entre-fileiras (50 cm), Y é o espaçamento entre-plantas (29 cm), e Z a profundidade efetiva de coletada (20 cm). Em seguida, com o auxílio de uma pá de corte, efetuou-se a retirada das plantas com a massa de solo nas demarcações espaciais previamente estabelecidas.

**Figura 2 – Esquema representativo da coleta das plantas na cultura do milho**



**Fonte:** Produção do próprio autor, 2019.

Após a retirada de cada planta com a massa de solo associada, as raízes foram lavadas em água corrente e depois submersas por um período de 30 minutos em uma solução de NaOH a 1 M para facilitar a dispersão do solo aderido ao tecido radicular.

O volume radicular foi mensurado colocando-se as raízes em um recipiente com volume conhecido, submerso-as totalmente em água até a graduação pré-estabelecida. Na sequência, as raízes foram retiradas e realizou-se a pesagem do recipiente com a água remanescente. Partindo-se do pressuposto que a densidade da água é igual a  $1 \text{ g cm}^{-3}$  à temperatura ambiente, o volume de raízes foi estimado pela diferença entre a massa do recipiente totalmente preenchido com água e a massa da água remanescente após a retirada das raízes.

A massa das raízes e da parte aérea vegetal foram determinadas após a secagem em estufa a  $65^{\circ}\text{C}$  até atingirem peso constante.



## 6 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Os resultados foram submetidos a análise de variância pelo teste F ao nível de significância de 5% comparando-se as médias de cada camada individualmente para cada atributo do solo.



## 7 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 7.1 Atributos físicos do solo

A Ds do solo diferiu entre os dois sistemas de manejo do solo avaliados, como é mostrado na tabela 1. Observou-se na SDc um aumento da Ds em profundidade, enquanto a SDi apresentou valores homogêneos sobre as camadas analisadas. As diferenças encontradas na Ds nas camadas avaliadas entre a SDc e a SDi pode ser atribuída aos distintos períodos de adoção da SD entre estes dois tratamentos e ao efeito residual produzido pelo PC sobre a SDi na estrutura do solo.

**Tabela 1** – Valores de densidade do solo (Ds), porosidade total (Pt), macroporosidade (Ma) e microporosidade (Mi) nas amostras de solo coletadas em março de 2018 nos diferentes manejos.

Profundidade (cm)	Sistema de manejo do solo			
	SDi	SDc	SDi	SDc
			Ds g cm <sup>-3</sup>	Pt cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup>
0 – 2,5	1,17 *	0,90	0,51 *	0,61
2,5 – 5	1,24 ns	1,16	0,49 ns	0,51
5 – 10	1,20 *	1,32	0,50 *	0,44
10 – 20	1,26 *	1,38	0,48 *	0,43
Média	1,21	1,19	0,49	0,49
SDi SDc SDi SDc				
	Ma cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup>		Mi cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup>	
	0,20 *	0,26	0,31 *	0,35
	0,16 ns	0,14	0,33 *	0,37
0 – 2,5	0,17 *	0,05	0,32 *	0,39
2,5 – 5	0,13 *	0,04	0,35 *	0,39
Média	0,16	0,12	0,33	0,37

\* Médias em cada camada de solo significativamente diferentes pelo teste F ao nível de significância de 5%

ns Diferença não significativa entre as médias de cada camada de solo pelo teste F a 5%

SDi: semeadura direta implantada; SDc: semeadura direta consolidada.

O significativo acúmulo de matéria orgânica na superfície do solo da SDc ao final de 22 anos de cultivo favoreceu a diminuição da Ds pela melhor estruturação produzida nesta camada. Isto pode ser verificado pela correlação negativa significativa encontrada entre a Ds e os teores de COT ( $r = -0,62$   $p < 0,01$ ) observada na tabela 2. Entretanto, os maiores valores de Ds encontrados nas camadas inferiores deste tratamento podem ser atribuídos a transmissão da pressão mecânica exercida pelo

trânsito de máquinas sobre a superfície do solo para as camadas inferiores, e que também se refletiram em menores valores de Pt e Ma.

As modificações produzidas na estrutura do solo ao longo do tempo após a adoção da SD, podem ser observadas pela comparação dos resultados obtidos na condição atual em que se apresenta a SDc e na condição observada por Bertol et al., (2000) para o mesmo tratamento, três anos após sua implantação. Naquela ocasião, os autores verificaram maior valor de Ds na camada superficial ( $1,39 \text{ Kg dm}^{-3}$ ) e menores valores deste atributo nas camadas inferiores ( $1,26 \text{ Kg dm}^{-3}$ ). Desta forma, verifica-se que nos anos que se seguiram à adoção deste manejo houve um acréscimo na Ds na camada superficial, provocado tanto pela reorganização natural das partículas do solo como pela pressão exercida por implementos agrícolas. Por outro lado, houve um decréscimo deste atributo com o acúmulo gradual de carbono orgânico nesta camada ao longo do tempo, evidenciada pelos menores valores de Ds encontrados na presente pesquisa. A SDi não apresentou distinção entre as camadas avaliadas devido ao curto período transcorrido desde a adoção deste tratamento à SD e pela consolidação incipiente de sua estrutura após sua implantação sobre o PC.

Estes resultados corroboram com Assis & Lanças (2005), que, ao avaliarem o efeito do tempo de adoção do sistema SD sobre os atributos físicos de um Nitossolo Vermelho distroférrico, constataram que a SD após 12 anos de implantação, apresentou a menor Ds do solo na camada 0 – 5 cm comparada a SD após um ano, SD após quatro anos e SD após cinco anos de adoção. Estes autores atribuíram a menor Ds encontrada no sistema SD com 12 anos de cultivo ao maior acúmulo de matéria orgânica nesta camada, comparativamente aos demais tratamentos. Entretanto, não foi verificado aumento da Ds nas camadas inferiores do solo em nenhum dos tratamentos avaliados.

Comparativamente a SDc, outros autores, (Stone & Silveira, 2001; Costa et al., 2003; Albuquerque et al., 2005) não verificaram decréscimos da Ds na camada superficial do solo manejados sob SD, tampouco aumento da Ds em camadas subsuperficiais ao longo do tempo neste manejo. Entretanto, as condições experimentais em que foram conduzidos esses trabalhos diferem em pelo menos um aspecto da condição da presente pesquisa. Aqueles trabalhos foram conduzidos por menor período e em condições edafoclimáticas contrastantes em relação à presente pesquisa, e ainda em classe textural do solo diferentes. Estes fatores podem ter influenciado na dinâmica da matéria orgânica e no arranjo das partículas sólidas do

solo nos diferentes trabalhos, resultando em reflexos distintos sobre a estrutura física do solo.

O volume total de poros (Pt) expressou alta correlação negativa com a Ds ( $r = -0,98$   $p < 0,01$ ) e correlação positiva com os valores de COT no solo ( $r = 0,56$   $p < 0,05$ ) observados na tabela 2. Desta forma, verificou-se que a Pt apresentou comportamento inverso ao apresentado pela Ds nas diferentes camadas avaliadas. Na camada de 0 – 2,5 cm da SDc, o solo apresentou os maiores valores de Pt do estudo, em função do maior aporte COT que reproduziu reflexos positivos na estrutura do solo expressos pela menor Ds encontrada. Em contrapartida, os maiores valores de Ds observados nas camadas inferiores deste tratamento se traduziram nos menores valores de Pt observados no experimento. A SDi não apresentou contrastes significativos entre as camadas avaliadas quanto a Pt. Comparativamente a SDc, a SDi apresentou menor Pt na camada superficial e maior Pt nas camadas subsuperficiais.

Tabela 2 - Coeficiente de correlação de Pearson entre os atributos físicos do solo.

	Pt	Ma	Mi	Ucc	Pa	DMP	Dp	COT
Ds	-0,98	-0,88	0,37	0,40	-0,88	0,31	0,43	-0,62
Pt		0,91	-0,41	-0,44	0,91	-0,35	-0,27	0,56
Ma			-0,75	-0,76	0,99	-0,37	-0,14 <sup>ns</sup>	0,33
Mi				0,99	-0,74	0,23 <sup>ns</sup>	-0,11 <sup>ns</sup>	0,16 <sup>ns</sup>
Cc					-0,76	0,24	-0,08 <sup>ns</sup>	0,12 <sup>ns</sup>
Pa						-0,37	-0,16 <sup>ns</sup>	0,35
DMP							-0,11 <sup>ns</sup>	-0,01 <sup>ns</sup>
Dp								-0,57

Ds – Densidade do solo; Pt – Porosidade total; Ma – Macroporosidade; Mi – Microporosidade; Ucc – Umidade na capacidade de campo; Pa – Porosidade de aeração; Dp – Densidade de partículas; COT – Carbono orgânico total. <sup>ns</sup> Valores não significativos ao nível de significância de 5% pelo teste de Tukey.

A Ma apresentou comportamento idêntico a Pt para a SDc. Os menores valores de macroporos foram encontrados nas camadas inferiores (5 – 20 cm) da SDc, conforme apresentado na tabela 1. Estes valores estão abaixo do limite crítico estabelecido por Reynolds et al. (2002) que consideram o valor  $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$  como volume mínimo de macroporos no solo para a maioria das culturas. Valores abaixo deste limite podem comprometer processos relacionados a condutividade hidráulica do solo, a difusão de gases, água e nutrientes, bem como produzir reflexos negativos sobre o crescimento e desenvolvimento das plantas (Reichert et al., 2003). A SDi apresentou maior Ma na camada superficial (0 – 2,5 cm) em relação a camada 10 –

20 cm, não sendo verificado volumes abaixo do limite crítico deste atributo para este manejo.

Em relação ao volume de Mi, verifica-se na tabela 1 que a SDc apresentou maior microporosidade em todas as camadas avaliadas em comparação à SDi. As correlações negativas entre a Mi com Pt ( $r= -0,41$   $p< 0,05$ ) e Ma ( $r= -0,75$   $p< 0,05$ ) respectivamente, positiva entre Mi e Ds ( $r= 0,37$   $p<0,01$ ) observados na tabela 2 justificam os maiores valores encontrados nas camadas inferiores da SDc (5 – 20 cm) comparadas a SDi. Isso ocorreu em razão da aproximação das partículas pelo aumento da pressão mecânica transmitida para estas camadas de solo ao longo do tempo, que reduziram a proporção dos poros de maior diâmetro e incrementaram ligeiramente os de menor diâmetro. Esta condição também foi observada por Beutler et al. (2002). A maior Mi encontrada na camada superficial da SDc em relação a SDi não apresentou a mesma correlação descrita acima, podendo estar relacionada aos efeitos produzidos pela matéria orgânica. Verificou-se correlação positiva entre Mi e COT ( $r=0,16$   $p>0,05$ ), no entanto não se mostrou significativa para o presente estudo.

Os valores do DMP observados entre a SDi e a SDc não diferiram entre si nas camadas correspondentes ao intervalo de 0 – 10 cm de profundidade como pode ser visualizado na tabela 3. Entretanto, na camada de 10 – 20 cm, a SDc superou os valores encontrados na SDi. Os benefícios promovidos pela adoção da SDi no estado de agregação do solo podem ser constatados pelas diferenças encontradas por Andrade (2009) para o mesmo experimento quando este tratamento era conduzido sob forma de preparo convencional. Naquela ocasião, a autora constatou valores de DMP significativamente menores no PC (4,8) em relação a SD (5,8) na camada de 0 – 2,5 cm, atribuindo esta diferença encontrada ao periódico revolvimento do solo e ao baixo aporte de carbono proporcionado pelo sistema PC no solo, diminuindo a estabilidade de agregados em relação a SD.

Corroborando com os dados obtidos por Andrade (2009), verificou-se aumento no DMP em profundidade na SDc. A correlação positiva entre DMP e Ds ( $r= 0,31$   $p<0,05$ ) e negativa entre DMP e Pt ( $r= -0,35$   $p<0,05$ ) pode ajudar a justificar os maiores valores encontrados do DMP nas camadas inferiores do solo da SDc. A maior Ds e menor Pt verificadas nestas camadas pode refletir-se em macroagregados com um arranjo de partículas mais compacto no solo, de modo a haver maior área de contato entre partícula/partícula por unidade de volume destas estruturas. Esta condição do solo pode contribuir para a maior coesão de sua estrutura física,

aumentando a resistência à desagregação frente a aplicação de uma força sobre a sua superfície.

Tabela 3 – Valores de diâmetro médio ponderado (DMP), densidade de partículas (Dp), Umidade na capacidade de campo (Ucc) e porosidade de aeração (Pa) nas amostras de solo coletadas em março de 2018 nos diferentes manejos

Profundidade (cm)	Sistema de manejo do solo			
	SDi	SDc	SDi	SDc
	DMP		Dp g cm <sup>-3</sup>	
0 – 2,5	5,65 ns	5,77	2,44 *	2,35
2,5 – 5	5,82 ns	5,99	2,45 *	2,39
5 – 10	5,96 ns	6,14	2,44 ns	2,40
10 – 20	5,80 *	6,13	2,45 ns	2,43
Média	5,80	6,00	2,44	2,39
SDi		SDc	SDi	SDc
	Ucc cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup>		Pa cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup>	
0 – 2,5	0,30 *	0,34	0,21 *	0,26
2,5 – 5	0,32 *	0,36	0,17 ns	0,14
5 – 10	0,32 *	0,38	0,18 *	0,06
10 – 20	0,35 *	0,39	0,13 *	0,04
Média	0,32	0,37	0,17	0,13

\* Médias em cada camada de solo significativamente diferentes pelo teste F ao nível de significância de 5%

ns Diferença não significativa entre as médias de cada camada de solo pelo teste F a 5%

SDi: semeadura direta implantada; SDc: semeadura direta consolidada.

Não houve correlação positiva do DMP com os teores de COT no solo ( $r = -0,01$   $p > 0,05$ ) na presente pesquisa, discordando de Andrade (2009), Castro Filho et al., (1998) e Hickmann et al., (2012). Desta forma, a estabilidade de agregados observada na condição atual está mais condicionada ao estado da estrutura física do solo e a manifestação de forças de natureza fisico-químicas no estado de agregação, como a presença de óxidos de ferro e Al trocável, que os efeitos cimentantes produzidos pela matéria orgânica relatados pela literatura.

A Dp apresentada na tabela 3 foi significativamente afetada pelos tratamentos estudados. Este atributo se mostrou sensível ao manejo apesar de não estar relacionado a expressão da estrutura física do solo. As diferenças encontradas, tanto em profundidade quanto entre tratamentos observados deste atributo, se devem aos diferentes teores de COT encontrados entre os dois sistemas de manejo, verificado pela correlação negativa entre estes dois atributos ( $r = -0,57$   $p < 0,05$ ).

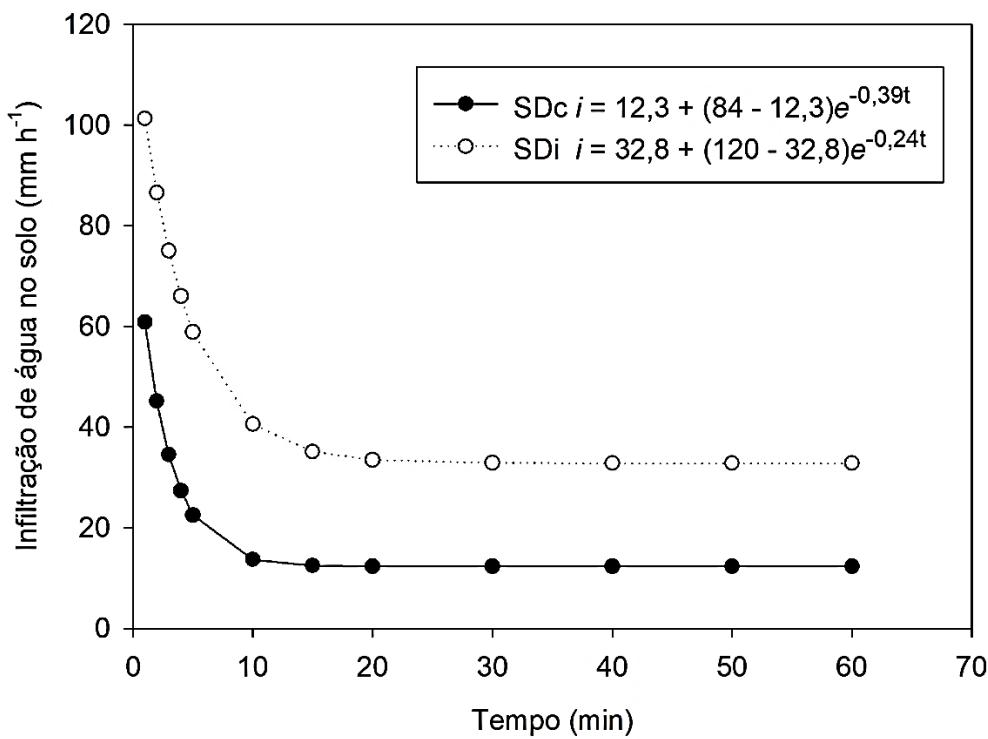
Segundo Ferreira (2010), dentre os constituintes sólidos do solo, a matéria orgânica representa a fração de menor densidade específica em relação aos

componentes minerais. Considerando-se que a Dp é uma média ponderada das massas específicas das diferentes partículas do solo, o maior acúmulo da fração orgânica na SDc concorreu para diminuir os valores de Dp do solo neste tratamento, gerando um gradiente crescente em profundidade deste atributo, fato não observado na SDi.

A umidade na capacidade de campo (Ucc) avaliada nos dois manejos apresentou alta correlação positiva com a microporosidade do solo ( $r = 0,99$   $p < 0,01$ ), sendo maior na SDc comparativamente a SDi em todas as camadas avaliadas. O maior grau de consolidação do solo e os maiores teores de carbono orgânico na SDc contribuíram para a maior retenção de água em comparação a SDi. Apesar da SDc apresentar maior Ucc não é possível inferir que este tratamento possa dispor maior conteúdo de água às plantas em relação a SDi, uma vez que não foi mensurado volume de água que o solo apresentava na tensão de 1,5 MPa entre os tratamentos. Esta é a tensão em que a água se encontra no ponto de murcha permanente (PMP) necessária para estimar o intervalo da água disponível às culturas.

A porosidade de aeração (Pa) mensurada no momento em que as amostras se encontravam na Ucc diferiu significativamente entre os tratamentos estudados. A SDc apresentou o maior valor de Pa na camada de 0 – 2,5 cm, enquanto nas camadas inferiores (5-10 cm), este tratamento apresentou os menores valores. Semelhante a SDc, a SDi apresentou maiores valores nas camadas superficiais em relação às camadas inferiores. Entretanto, a amplitude de variação entre as profundidades foi significativamente menor na SDi que na SDc, decorrente da estrutura física mais homogênea apresentada por este tratamento.

A taxa de infiltração de água no solo, tanto inicial como final, foi maior na SDi, sendo aproximadamente duas vezes e meia superior a SDc, como pode ser visualizado na figura 3. Tal comportamento pode ser explicado pela maior macroporosidade e menor densidade do solo nas camadas inferiores apresentadas pela SDi em relação a SDc. As características positivas promovidas pelo maior acúmulo de carbono orgânico na superfície do solo na SDc sobre a estrutura física nesta camada foram suplantadas pelas piores condições observadas da estrutura nas camadas inferiores deste tratamento, tanto na Ds quanto na Ma, justificando a menor taxa de infiltração da SDc em relação à SDi.



**Figura 3** – Infiltração de água no solo (*i*) na semeadura direta implantada (SDi) e semeadura direta consolidada (SDc) em um Cambissolo Húmico, determinadas em julho de 2018. Média de três repetições de cada tratamento.

Bertol et al., (2001) observaram taxa de infiltração no PC cerca de duas vezes maior que na SD para o mesmo experimento, justificando este comportamento a maior porção de macroporos e menor Ds encontrada no PC. Verificou-se, desta maneira que o efeito residual produzido pelo PC na SDi ainda persiste sobre as características estruturais do solo neste tratamento.

## 7.2 Atributos químicos do solo

Na SDc observou-se uma significativa acidificação da camada superficial do solo em relação as camadas inferiores, evidenciada pelo gradiente crescente do pH em profundidade, como pode ser observado na tabela 4. Ciotta et al., (2002) e Almeida et al., (2005) também constataram valores mais baixos de pH em sistema de semeadura direta nas camadas superficiais do solo, atribuindo esta frente de acidificação à aplicação superficial de fertilizantes de reação ácida e à decomposição de material orgânico na superfície, com provável liberação de ácidos orgânicos.

Tabela 4 – Valores de pH em água, AI trocável, CTC efetiva e COT nas amostras de solo coletadas em março de 2018 nos diferentes manejos.

Profundidade (cm)	Sistema de manejo do solo			
	SDi	SDc	SDi	SDc
	pH em água		AI trocável cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	
0 – 2,5	4,49 ns	4,34	2,98 ns	2,35
2,5 – 5	4,48 ns	4,42	3,99 ns	2,96
5 – 10	4,57 ns	4,61	4,1 ns	3,41
10 – 20	4,47 *	4,70	4,0 *	2,88
Média	4,5	4,6	3,76	2,9
SDi		SDc	SDi	SDc
CTC efetiva cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>			COT g Kg <sup>-1</sup>	
0 – 2,5	9,2 ns	10,3	32,4 *	56,7
2,5 – 5	9,3 ns	9,8	30,2 *	47,1
5 – 10	9,48 ns	10,8	30,7 *	37,3
10 – 20	9,15 ns	10,5	30,2 ns	32,3
Média	9,3	10,3	30,8	43,3

\* Médias em cada camada de solo significativamente diferentes pelo teste F ao nível de significância de 5%

ns Diferença não significativa entre as médias de cada camada de solo pelo teste F a 5%  
SDi: semeadura direta implantada; SDc: semeadura direta consolidada.

A ausência de mobilização do solo desde a sua implantação e o maior acúmulo de matéria orgânica presente na camada superficial da SDc, podem ter contribuído no tamponamento das fontes geradoras de acidez no solo ao longo do tempo, preservando desta maneira os maiores valores de pH encontrados nas camadas inferiores deste sistema de manejo. O mesmo comportamento não foi verificado na SDi, decorrente do efeito residual produzido pelo PC que diluiu a acidez gerada no solo ao longo do tempo pelas operações de preparo que eram realizadas na camada arável.

O menor teor de Al trocável observado na camada superior da SDc na tabela 4 pode ser atribuído ao efeito do acúmulo da matéria orgânica neste sistema em relação a SDi, contribuindo desta maneira para complexação deste metal na camada superficial do solo em relação às camadas inferiores, como também foi constatado por outros autores (Salet, 1994, Ciotta et al., 2002, Santos & Tomm 2003). O maior teor de Al encontrado na camada de 10 – 20 na SDi pode ser justificado pela diferença encontrada no pH entre os dois tratamentos, visto que o pH mais baixo encontrado na SDi pode favorecer a concentração de Al trocável em detrimento de espécies poliméricas precipitadas, comparativamente a SDc (Vieira et al., 2009).

Em ambos os sistemas de preparo do solo ocorreu uma acidificação significativa do solo ao longo do tempo quando comparada à condição inicial do experimento, quando o mesmo apresentava pH em água igual a 5,5. Os valores médios de pH encontrados na presente pesquisa nos dois tratamentos equiparam-se aos valores encontrados por Almeida et al., (2005) no campo nativo para a mesma classe de solo estudada, que observou valores de pH próximos a 4,5 e teores médios de Al trocável de  $7 \text{ cmol}_{\text{c}}\cdot\text{dm}^{-3}$ . O pH do solo apresentado no momento atual revela indícios de que o efeito residual da calagem chegou ao fim. Todavia, os teores de Al trocável apresentados ainda são menores que os valores apontados no campo nativo, mostrando que os efeitos da calagem ainda persistem sobre este atributo.

Não foi verificado diferença significativa entre os manejos e entre as profundidades avaliadas quanto a CTC efetiva do solo, como pode ser verificado na tabela 4. No entanto, em todas as camadas analisadas verifica-se uma tendência de maior CTC efetiva no tratamento conduzido sob SDc em relação à SDi. Outros autores (Souza & Alves, 2003 e Campos et al., 2011) também verificaram maiores valores de CTC efetiva na SD comparado ao PC, fato atribuído ao maior acúmulo de matéria orgânica neste sistema.

As maiores concentrações de carbono orgânico total (COT) foram encontradas na SDc entre as camadas de 0 – 10 cm do solo. A ausência de mobilização e o contínuo aporte de resíduos vegetais na superfície deste tratamento contribuíram para o acúmulo de matéria orgânica nestas camadas do solo, como também foi constatado por Castro e Filho (1998) e Bertol et al., (2004), enquanto na SDi, não se observou gradiente de COT entre as camadas, em função do modelo de preparo mecânico do solo utilizado neste tratamento quando era cultivado sob PC e ao curto período de tempo de adoção da SD.

Os teores de COT obtidos por Almeida et al., (2005) no campo nativo para a mesma classe de solo de estudo na camada de 0 – 2,5 cm foi de 38,1 g Kg<sup>-1</sup>, enquanto para a camada de 10 – 20 cm os autores obtiveram teor de 26,5 g Kg<sup>-1</sup>, evidenciando-se desta forma que a SDc aumentou os teores de carbono orgânico após 22 anos de cultivo, enquanto a SDi ainda apresenta teores de COT abaixo da condição original apresentada neste solo.

Os valores obtidos de K e P diferiram entre os dois manejos de solo, visualizado na tabela 5. Na SDc observou-se um gradiente decrescente em profundidade de P nas camadas analisadas, apresentando teores deste nutriente significativamente superiores aos encontrados na SDi nas camadas superficiais do solo. O aspecto da distribuição deste nutriente ao longo do perfil na SDc tem sido observado frequentemente (Bayer & Bertol, 1999 e Falleiro et al., 2003), sendo atribuído a dinâmica apresentada por este elemento na SD devido à menor área de contato entre os adubos e a fração mineral do solo, a manutenção dos resíduos vegetais remanescentes dos cultivos agrícolas sobre a superfície do solo e à baixa mobilidade vertical deste nutriente.

Tabela 5 - Teores de K, P, Ca e Mg nas amostras de solo coletadas em março de 2018 nos diferentes manejos.

Profundidade (cm)	Sistema de manejo do solo			
	SDi		SDc	
	K mg dm <sup>-3</sup>	P mg dm <sup>-3</sup>	SDi	SDc
0 – 2,5	321 *	238	20,8 *	54,1
2,5 – 5	190 ns	165	15,9 *	38,2
5 – 10	156 ns	188	16,6 ns	21,6
10 – 20	145 ns	147	13,9 ns	13,2
Média	175,4	170,8	15,9	31,7
SDi SDc SDi SDc				
Ca cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	Ca cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>		Mg cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	
	4,6 *	6,4	0,74 ns	0,90
	4,2 *	5,7	0,61 ns	0,76
5 – 10	4,3 *	6,1	0,59 ns	0,79
10 – 20	4,1 *	6,3	0,62 *	0,89
Média	4,3	6,1	0,64	0,83

\* Médias em cada camada de solo significativamente diferentes pelo teste F ao nível de significância de 5%

ns Diferença não significativa entre as médias de cada camada de solo pelo teste F a 5%

SDi: semeadura direta implantada; SDc: semeadura direta consolidada.

Andrade (2009) verificou valores de P mais altos nos tratamentos conduzidos sob SD nas camadas superficiais do solo em relação aos valores observados na presente pesquisa. Este decréscimo nos teores de P pode ser atribuído à acidificação sofrida por esta camada ao longo do tempo neste sistema de manejo, contribuindo para maior adsorção de P à fração sólida do solo, diminuindo os teores extraíveis deste nutriente e sua disponibilidade na solução do solo. ( Ciotta et al., 2002).

Não foi observada diferença significativa nos teores de P nas diferentes camadas de solo avaliadas na SDi, verificando-se, desta forma, que o período de tempo da adoção da SD neste tratamento ainda não foi suficiente para gerar um gradiente de concentração em profundidade no solo. Em todas as camadas avaliadas dos dois tratamentos os teores de P foram superiores ao teor crítico ( $12 \text{ mg dm}^{-3}$ ) estabelecido para esta classe textural de solo (CQFS/SC, 2016).

Os maiores valores de K foram encontrados nas camadas superficiais dos dois sistemas de manejo, sendo que a SDi apresentou maior concentração deste nutriente na camada de 0 – 2,5 cm comparada à SDc como pode ser visto na tabela 5.

A manutenção dos resíduos culturais sobre a superfície do solo dos cultivos que sucederam à adoção da SDi pode ter contribuído para o significativo acúmulo de K nesta camada. A grande produção de fitomassa da Crotalaria, cultivada após a implantação da SDi, pode ter desempenhado um papel preponderante na dinâmica deste processo.

Pereira et al., (2017) avaliando a produção da biomassa e acúmulo de nutrientes da Crotalaria, verificaram valores médios de  $22 \text{ Mg ha}^{-1}$  de matéria seca e uma concentração de  $16 \text{ g Kg}^{-1}$  de K no tecido vegetal desta espécie. Naquela ocasião, estes autores encontraram valores absolutos de K imobilizado na parte aérea de aproximadamente  $360 \text{ Kg ha}^{-1}$  de K, evidenciando a grande capacidade recicladora deste nutriente por esta espécie vegetal. Concomitante a isto, Costa et al., (2012) constatou que após o manejo da Crotalaria, o K foi o elemento liberado mais rapidamente da biomassa em comparação aos demais nutrientes, atribuindo esta característica ao fato deste elemento não estar associado aos componentes estruturais do tecido vegetal. Assim, à medida que a parte aérea das plantas de crotalaria iniciam o processo de secagem, a concentração deste elemento no tecido diminui drasticamente, sendo prontamente liberado ao solo. Os dados obtidos por esses pesquisadores auxiliam na elucidação do maior acúmulo deste nutriente na camada superficial na SDi.

A menor concentração de K encontrada na camada superior da SDc comparada a SDi, todavia pode estar relacionado a maior saturação por bases da CTC neste tratamento. Desta forma, uma menor porção do K liberado pela crotálaria foi adsorvida à fase sólida do solo neste estrato, percolando verticalmente na solução do solo frente a drenagem da água das chuvas, diluindo a adsorção deste nutriente ao longo das camadas inferiores.

A SDc apresentou valores significativamente maiores de Ca em todas as camadas analisadas, comparativamente a SDi, como pode ser visto na tabela 5. As maiores concentrações deste nutriente neste tratamento podem ser atribuídas ao maior conteúdo de matéria orgânica presente neste manejo. Isto contribuiu significativamente no aumento da CTC efetiva do solo, refletindo-se em maior adsorção de Ca à fase sólida do solo, enquanto os menores teores encontrados na SDi advém dos efeitos negativos produzidos pelo PC.

A contribuição da matéria orgânica em solos com predomínio de cargas dependentes de pH foi constatado por Ciotta et al., (2003) que avaliaram os efeitos do acúmulo de matéria orgânica sobre a CTC do solo em dois manejos, SSD e SPC. Verificaram que os maiores teores de carbono orgânico presentes na camada superficial da SD expressaram alta correlação positiva com CTC do solo, aumentando significativamente a adsorção de cátions básicos à fase sólida do solo.

Os teores de Mg não diferiram entre os tratamentos nas camadas de 0 – 10 cm, no entanto, a SDc apresentou teores significativamente maiores na camada de 10 – 20cm em relação a SDi. Semelhante ao Ca, não foi verificada diferença na distribuição deste nutriente entre as diferentes camadas de solo nos dois tratamentos estudados. Os teores de Mg apresentados nos dois tratamentos ficaram abaixo do limite crítico para este nutriente estabelecido pela CQFS/SC (2016) que é de  $1 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ , enquanto os teores de Ca ficaram acima deste limite crítico, estipulado em  $4 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ .

Os teores e a distribuição de Ca e Mg no solo não diferiram dos valores observados por Andrade (2009) no PC e na SD, verificando-se, desta maneira, que a adoção da SDi não modificou a dinâmica destes nutrientes no solo, sendo que os menores teores encontrados destes dois elementos na SDi podem ser atribuídos ao efeito residual produzido pelo PC neste tratamento.

### 7.3 Atributos agronômicos das culturas

O fator ureia afetou significativamente os atributos vegetativos da cultura do milho na SDi, proporcionando incrementos significativos na produção de massa seca de parte aérea (MSPA) e massa seca de raízes (MSR), evidenciado pelo acréscimo na ordem de 45% e 75% destes dois atributos na presença deste fertilizante, respectivamente, como pode ser visto na tabela 6. O mesmo fator não foi significativo quanto a estes caracteres na SDc, evidenciando desta forma que a SDi foi mais sensível à ureia que a SDc. Considerando que a fração orgânica representa o principal compartimento do estoque de nitrogênio no solo, o maior teor de matéria orgânica na SDc pode justificar tal comportamento pelo maior conteúdo de nitrogênio potencialmente mineralizável à cultura do milho neste tratamento. Isto proporcionou maior apporte deste nutriente durante todo o ciclo de crescimento e desenvolvimento da cultura.

Tabela 6 - Atributos agronômicos da cultura do milho: matéria seca da parte aérea (MSPA), massa seca de raízes (MSR), volume de raízes (VR), massa de mil grãos (MMG), produtividade (PROD) e índice de colheita (IC).

	MSPA ( $Mg\ ha^{-1}$ )		MSR ( $Mg\ ha^{-1}$ )	
	C/Ureia <sup>1</sup>	S/Ureia <sup>2</sup>	C. Ureia	S. Ureia
SDi	6,7 bA	4,6 bB	1,6 aA	0,9 bB
SDc	8,8 aA	7,9 aA	2,2 aA	1,9 aA
CV (%)	17,4		27,1	
	VR ( $m^3\ ha^{-1}$ )		MMG (g)	
	C. Ureia	S. Ureia	C. Ureia	S. Ureia
SDi	10,5 aA	5,6 bB	346,9 aA	291,2 aB
SDc	13,7 aA	11,4 aA	351,5 aA	302,1 aB
CV (%)	29,3		8,4	
	PROD ( $Mg\ ha^{-1}$ )		IC (%)	
	C. Ureia	S. Ureia	C. Ureia	S. Ureia
SDi	9,4 aA	5,0 aB	52,9 aA	44,4 aA
SDc	11,2 aA	7,9 aB	50,6 aA	44,3 aA
CV (%)	23,2		15,5	

Médias seguidas de letras maiúsculas na linha e minúsculas na coluna iguais não diferem entre si pelo teste F a 5%. <sup>1</sup> Com ureia em cobertura. <sup>2</sup> Sem ureia em cobertura.

Em relação ao fator manejo do solo, a SDc também apresentou valores significativamente maiores que a SDi quanto a MSPA e MSR. Os diferentes níveis de fertilidade química entre os dois manejos estudados podem justificar as diferenças encontradas quanto ao desempenho agronômico destes atributos. Isto ocorre porque a SDc apresentou maiores teores de cátions básicos, P e menores concentrações de

AI trocável no solo em relação a SDi, proporcionando maior disponibilidade de nutrientes à cultura do milho.

O volume de raízes (VR) apresentou comportamento idêntico a MSR, sendo que a SDc apresentou os maiores índices de VR do experimento. As diferenças no aspecto visual da morfologia das raízes entre os dois manejos de solo sugerem que as plantas cultivadas na SDc apresentavam maior área superficial externa por unidade de volume de raiz (ASE). Isto se deve a presença de uma maior proporção de raízes de calibre mais fino em relação às de maior calibre, como pode ser visualizado na figura 4. Hipoteticamente, as raízes que apresentam maior ASE são capazes de explorar maior volume de solo por unidade de investimento metabólico em seus tecidos, sendo assim mais eficientes na absorção de água e nutrientes por unidade de carbono consumido destas estruturas (Ryser, 1995). Entretanto, não foi possível mensurar a área superficial externa das raízes com sua estrutura preservada através de um método empírico, como foi realizado na determinação do seu volume, não sendo possível comprovar esta hipótese.

**Figura 4** – Aspecto visual das raízes de milho na SDi sem ureia à esquerda; e na SDc sem ureia à direita



**Fonte:** Produção do próprio autor, 2019.

A massa de grãos do milho (MMG) foi significativamente afetada pelo fator ureia, enquanto os diferentes sistemas de manejo não afetaram este atributo. Kappes et al., (2014), também verificaram aumento da massa específica de grãos com o incremento da dose de ureia no milho, verificando um acréscimo de 6,6 g na massa de 1000 grãos para cada 50 Kg ha<sup>-1</sup> de nitrogênio aplicado.

O rendimento de grãos (PROD) também foi significativamente afetado pelo fator ureia nos dois manejos de solo avaliados, com incrementos na ordem de 88%

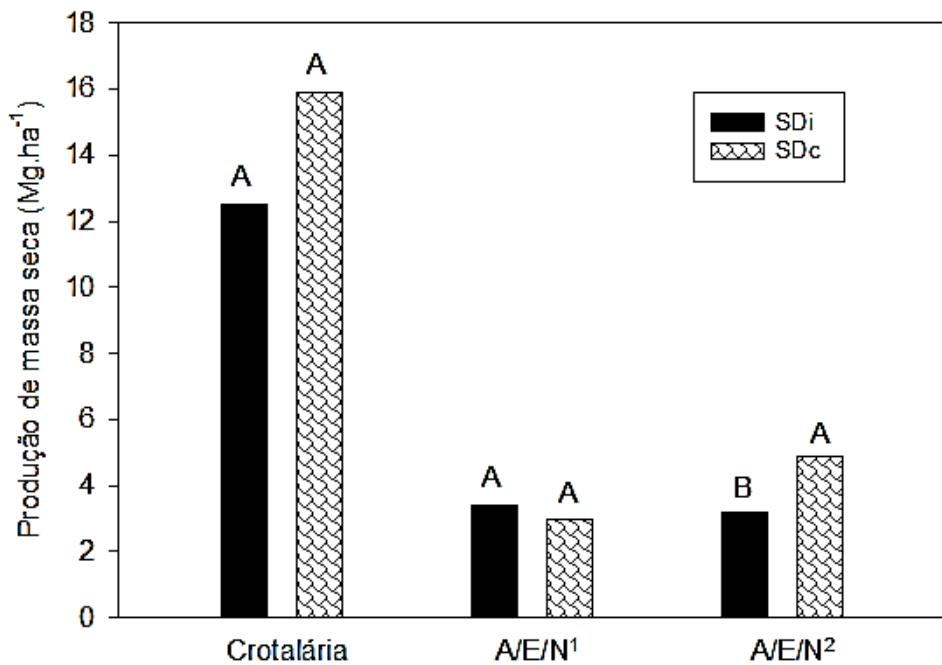
na SDi e 41% na SDc. Os melhores recursos nutricionais proporcionados pela SDc à cultura do milho, discutidos anteriormente, ajudam a justificar o menor incremento de produtividade neste tratamento. Assim, a provável contribuição da matéria orgânica do solo suplantou o nitrogênio disponibilizado pela ureia, enquanto na SDi, pela menor capacidade de aportar nutrientes à cultura do milho, se mostrou mais sensível ao nitrogênio mineral proveniente deste fertilizante.

Os efeitos positivos da matéria orgânica na disponibilidade de nitrogênio à cultura do milho foi verificado por Fontoura & Bayer (2009), que analisando os resultados de 61 experimentos com o objetivo de estabelecer critérios para indicação de adubação nitrogenada para a cultura do milho sob SD para a região Centro-Sul do estado do Paraná, verificaram que nas parcelas experimentais onde os resíduos culturais foram removidos e não foi realizada adubação nitrogenada, a quantidade de nitrogênio absorvida pelo milho teve uma relação direta com os teores de matéria orgânica do solo, indicando a adequação de seu uso como indicador de disponibilidade de N do solo. A partir da taxa média estimada de 3% na mineralização do N presente na matéria orgânica nos diferentes experimentos, estimou-se que para os teores de 30, 50 e 70 g Kg<sup>-1</sup> de matéria orgânica do solo seria possível suprir cerca de 37, 62 e 87 Kg de N para a cultura do milho, respectivamente.

O índice de colheita (IC), representado pela fração de grãos em relação a matéria seca total da planta, não expressou diferença, entre os tratamentos, ao nível de significância adotado. Entretanto, verificou-se uma tendência de maior IC nos tratamentos conduzidos sob aplicação de ureia como pode ser observado na tabela 6. Maiores valores de IC são desejáveis do ponto de vista agronômico, uma vez que o IC é uma medida da eficiência da partição de fotoassimilados para o grão, demonstrando maior eficiência de alocação de produtos sintetizados pelo dossel vegetal para as estruturas de importância econômica.

A maior produção de biomassa foi verificada no cultivo da crotalária, com produção média de matéria seca de 12,5 Mg ha<sup>-1</sup> na SDi e 15,8 Mg ha<sup>-1</sup> na SDc, mostrado na figura 5. Não foi verificada diferença, ao nível de significância adotado, quanto à produção entre os dois manejos neste cultivo. A produção dos cultivos de inverno não diferiu no primeiro ano do experimento (A/E/N<sup>1</sup>) entre os manejos avaliados. Observou-se uma média 3,3 Mg ha<sup>-1</sup> na SDi e 2,9 Mg ha<sup>-1</sup> na SDc, enquanto, no segundo cultivo, verificou-se diferença significativa na produção de matéria seca entre os dois tratamentos, com 4,9 Mg.ha<sup>-1</sup> na SDc e 3,2 Mg.ha<sup>-1</sup> na SDi.

Andrade (2009) não verificou diferenças significativas na produção de matéria seca das plantas de cobertura de inverno (aveia e ervilhaca) no ano de 2007, todavia, as médias obtidas na SD foram superiores às encontradas no PC.



**Figura 5** - Produção de massa seca de Crotálaria, Aveia/Ervilhaca/Nabo no ano de 2017 (A/E/N1) e 2018 (A/E/N2) na semeadura direta consolidada (SDc) e semeadura direta implantada (SDi). Letras iguais em cada cultivo não diferem entre si pelo teste F a 5%.

## 8 CONCLUSÕES

- 1- A adoção da SD sobre o PC promoveu melhorias na estabilidade de agregados do solo, evidenciadas pelos maiores valores do DMP da SDi quando comparado aos valores deste atributo quando este tratamento era conduzido sob o manejo de PC.
- 2- A SDi apresentou maior taxa de infiltração de água em relação a SDc, no entanto não apresentou diferença em relação aos valores registrados quando este tratamento ainda era conduzido sob PC.
- 3- A implantação da SD sobre o PC alterou a dinâmica e o gradiente de concentração de K nas camadas de solo analisadas, não sendo verificadas as mesmas modificações nos demais nutrientes e atributos químicos do solo em relação aos valores historicamente observados quando este tratamento era conduzido sob PC.
- 4- A produtividade e rendimento das culturas agrícolas na SDi foram inferiores aos valores obtidos na SDc, verificando-se, desta maneira, que a adoção da SD sobre o PC no referido período de tempo não foi suficiente para igualar-se ao desempenho agronômico das culturas apresentado pela SDc.



## 9 REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICAS

AITA, C.; GIACOMINI, S. J.; CERETTA, C. A.; Decomposição e liberação de nutrientes dos resíduos culturais de adubos verdes. In: Adubação Verde e Plantas de Cobertura no Brasil: fundamentos e prática. Brasilia, DF : Embrapa 2014. v.1, 507 p.

ALBUQUERQUE, J. A.; ARGENTON, J.; BAYER, C.; WILDNER, L. P.; KUNTZE, M. A. G.; Relação de atributos do solo com a agregação de um latossolo vermelho sob sistemas de preparo e plantas de verão para cobertura do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, p.415-424, 2005.

ALBUQUERQUE, J. A.; REINERT, D. J.; FIORIN, J. E.; RUEDELL, J.; PETRERE, C.; FOTINELLI, F.; Rotação de culturas e sistemas de manejo do solo: Efeitos sobre a forma da estrutura ao final de sete anos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v 19, p. 115-119, 1995.

ALBUQUERQUE, J. A.; SANGOI, L.; ENDER, M.; Efeitos da integração lavoura-pecuária nas propriedades físicas do solo e características da cultura do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. n.25, p.717-723, 2001.

ALMEIDA, J.A.; BERTOL, I.; LEITE, D.; AMARAL, A.J.; ZOLDAN JUNIOR, W.A. Propriedades químicas de um Cambissolo Húmico sob preparo convencional e semeadura direta após seis anos de cultivo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 29:437-445, 2005.

ALVES SOBRINHO, T.; VITORINO, A. C. T.; SOUZA, L. C. F.; GONÇALVES, M. C.; CARVALHO, D. F.; Infiltração de água no solo em sistemas de plantio direto e preparo convencional. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. V.7, p.191-196, 2003.

ANDRADE, A. P.; Atributos físicos e químicos de um Cambissolo Húmico sob dois sistemas de manejo após doze anos de cultivo. Universidade do Estado de Santa Catarina, 2009.68p. Dissertação (Mestrado).

ANDRADE, A. P.; MAFRA, A. L.; BALDO, G. R.; PICOLLA, C. D.; BERTOL, I.; ALBUQUERQUE, J. A.; Physical properties of a humic cambisol under tillage and cropping systems after 12 years. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**.v.34, p. 219-226, 2010.

ANDRADE, A.P.; MAFRA, A.L.; PICOLLA, C.D.; ALBUQUERQUE, J.A.; BERTOL, I. Atributos químicos de um Cambissolo Húmico após 12 anos sob preparo

convencional e semeadura direta em rotação e sucessão de culturas. **Ciência Rural**, v.42, n.8, p.814-821, 2012.

ARAUJO, L. A. N.; FERREIRA, M. A.; CRUZ, M. C. P.; Adubação nitrogenada na cultura do milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.39, n.8, p.771-777, ago. 2004.

ASSIS, R. L.; LANÇAS, K. P.; Avaliação dos atributos físicos de um Nitossolo Vermelho distroférrico sob sistema plantio direto, preparo convencional e mata nativa. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, p. 515-522, 2005.

BARCELOS, A.A.; CASSOL, E. A.; DENARDIN, J. E.; Infiltração de água em um latossolo Vermelho-Escuro sob condições de chuva intensa em diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.23, p.35-43, 1999.

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**, 23:687-694, 1999.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J.; PAVINATO, A.; Sistemas de manejo do solo e seus efeitos sobre o rendimento do milho. **Ciência Rural**, v.28, p. 23-28, 1998.

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**, v.30, n.1, p.91-95, 2000.

BERTOL, I.; ALBUQUERQUE, J.A.; LEITE, D.; AMARAL, A.J.; ZOLDAN JUNIOR, W.A. Propriedades físicas do solo sob preparo convencional e semeadura direta em rotação e sucessão de culturas, comparadas às do campo nativo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 28:155-163, 2004.

BERTOL, I.; BEUTLER, J. F.; LEITE, D.; BATISTELA, O.; Propriedades físicas de um Cambissolo Húmico afetadas pelo tipo de manejo do solo. **Scientia Agricola**, v.58, p.555-560, 2001.

BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F.; SOUZA, Z. M.; ANDRIOLI, I.; ROQUE, C. G.; Retenção de água em dois tipos de Latossolos sob diferentes usos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.26, p.829-834, 2002.

BÜLL, L. T. Nutrição mineral do milho. In: BÜLL, L.T. & CANTARELLA, H., eds. Cultura do milho: Fatores que afetam a produtividade. Piracicaba, Potafos, p. 63-145, 1993.

CAMPOS, L. P.; LEITE, L. F. C.; MACIEL, G. A.; IWATA, B. F.; NÓBREGA, J. C. A.; Atributos químicos de um Latossolo Amarelo sob diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília**, v.46, p.1681-1689, 2011.

CARDOSO, E. J. B. N.; VASCONCELLOS, R. L. F.; BINI, D.; MIYAUCHI, M. Y. H.; SANTOS, C. A.; ALVES, P. R. L.; PAULA, A. M.; NAKATANI, A. S.; PEREIRA, J. M.; NOGUEIRA, M. A.; Soil health: looking for suitable indicators. What should be considered to assess the effects of use and management on soil health? **Scientia Agricola**, v. 70, p.274-289, 2013.

CASTOLDI, G.; FREIBERGER, M. B.; CASTOLDI, G.; COSTA, C. H. M.; Manejo da adubação em sistema plantio direto. **Revista Trópica: Ciências Agrárias e Biológicas**, v.6 p.62-74, 2012.

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

CIOTTA, M. N.; BAYER., C.; FONTOURA., S. M. V.; ERNANI.; P. R.; ALBUQUERQUE.; J. A.; Matéria orgânica e aumento da capacidade de troca de cátions em solo com argila de atividade baixa sob plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.33, n.6,p. 1161-1164, 2003.

CIOTTA, M.N.; BAYER, C.; ERNANI, P.R.; FONTOURA, S.M.V.; WOBETO, C.; ALBUQUERQUE, J.A. Acidificação de um Latossolo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, p.317-326,2002.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO – RS/SC, Manual de calagem e adubação para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. 11.ed. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo – Núcleo Regional Sul. 2016, 376p.

COSTA, C. H. M.; CRUSCIOL, C. A. C.; SORATTO, R. P.; FERRANI NETO, J. Persistência e liberação de macronutrientes e silício da fitomassa de crotalária em função da fragmentação. **Bioscience Journal**, v. 28 (3): 384-394, 2012.

COSTA, F. S.; ALBUQUERQUE, J. A.; BAYER, C.; FONTOURA, S. M. V.; WOBETO, C. Propriedades físicas de um Latossolo Bruno afetadas pelos sistemas de plantio direto e preparo convencional. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Campinas, v.27, n.3, p.527-535, 2003.;

COSTA, F. S.; BAYER, C.; ALBUQUERQUE, J. A.; FONTOURA, S. M. V.; Aumento da matéria orgânica num latossolo bruno em plantio direto. **Ciência Rural**, v. 34, p.587-589, 2004.

D'ANDRÉA, A. F.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; FERREIRA, M. M.; Atributos de agregação indicadores da qualidade do solo em sistemas de manejo na região dos cerrados no sul do estado do Goiás. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.26, p.1047-1054, 2002.

DALMAGO, G. A.; BERGAMASCHI, H.; GERGONCI, J. I.; KRÜGER, C. A. M. B.; COMIRAN, 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.

DIECKNOW, J.; BAYER, C.; NETO-MARTINS, L.; MIELNICZUK, J.; Sistemas conservacionistas de preparo do solo e implicações no ciclo do carbono. **Embrapa, documento numero 12**, dezembro, 2004.

DORAN, J.W.; PARKIN, T.B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J.W.; COLEMAN, D.C.; BEZDICEK, D.F.; STEWART, B.A. (Eds). Defining soil quality for a sustainable environment. Madison: **Soil Science Society of America**, 1994. p.3-21.

FALLEIRO, R.M.; SOUZA, C.M.; SILVA, C.S.W.; SEDIYAMA, C.S.; SILVA, A.A.; FAGUNDES, J.L. Influência dos sistemas de preparo nas propriedades químicas e físicas do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 27:1097-1104, 2003.

FERNANDES, L. A.; VASCONCELLOS, C. A.; NETO, A. E. F.; ROSCOE, R.; GUEDES, G. A. A.; Preparo do solo e adubação nitrogenada na produção de grãos e matéria seca e acumulo de nutrientes pelo milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, n.9, p.1691-1698, 1999.

FERREIRA, M. M.; Caracterização física do solo. In: LIER, Q. J. V.; Física do Solo. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2010, 298p.

FILHO, C.C.; MUZILLI, O.; PODANOSCHI, A. L.; Estabilidade dos agregados e sua relação com o teor de carbono orgânico num Latossolo Roxo distrófico, em função

de sistemas de plantio, rotação de culturas e métodos de preparo das amostras. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.22 p.227-238, 1998.

FLORES, C. A.; REINERT, D.J.; REICHERT, J. M.; ALBUQUERQUE, J. A.; PAULETTO, E. A.; Recuperação da qualidade estrutural, pelo sistema plantio direto, de um Argissolo Vermelho. **Ciência Rual**, v.38, p.2164-2172, 2008.

FONTOURA, S. M. V.; BAYER, C.; Adubação nitrogenada para alto rendimento de milho em plantio direto na região Centro-Sul do Paraná. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, p. 1721-1732, 2009.

GONÇALVES, F. C.; MORAES, M. H.; Porosidade e infiltração de água do solo sob diferentes sistemas de manejo. **Irriga, Botucatu**, v.17, p.337-345, 2012.

HICKMANN C, COSTA L. M., SCHAEFER C. E. G., FERNANDES R. B. A., ANDRADE C. L. T.; Atributos físico-hídricos e carbono orgânico de um Argissolo após 23 anos de diferentes manejos. **Caatinga**. v. 25, p.128-136, 2012.

HICKMANN, C.; COSTA, L. M.; Estoque de carbono no solo e agregados em um Argissolo sob diferentes manejos de longa duração. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, p.1055-1061, 2012.

KAPPES, C.; ARF, O.; ANDRADE, J. A. C.; Coberturas vegetais, manejo do solo, doses de nitrogênio e seus efeitos na nutrição mineral e nos atributos agronômicos do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.37, p.1322-1333, 2013.

KAPPES, C.; ARF, O.; BEM, E. A. D.; PORTUGAL, J. R.; GONZAGA, A. R.; Manejo do nitrogênio em cobertura na cultura do milho em sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.13, n.2, p.201-217,2014.

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

LLANILLO, R. F.; RIHCART, A.; FILHO, J. T.; GUIMARÃES, M. F.; FERREIRA, R. R. M.; Evolução das propriedades físicas do solo em função dos sistemas de manejo em culturas anuais. **Semina: Ciências Agrárias**, v.27, p.205-220, 2006.

MACHADO, J. L.; TORMENA, C. A.; FIDALSKI, J.; SCAPIM, C. A.; Inter-relações entre as propriedades físicas e os coeficientes da curva de retenção de água de um

Latossolo sob diferentes sistemas de uso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.495-502, 2008.

NEVES, C. S. V. J.; FELLER, C.; KOUAKOUA, E.; Efeito do manejo do solo e da matéria orgânica solúvel em água quente na estabilidade de agregados de um latossolo argiloso. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.36, n.5, p.1410-1415, 2006.

PAULETTI, V.; LIMA, M. R.; BARCIK, C.; BITTENCOURT, A.; Rendimento de grãos de milho e soja em uma sucessão cultural de oito anos sob diferentes sistemas de manejo de solo e de culturas. **Ciência Rural**, v.33, p. 491-495, 2003.

PEREIRA, A. P.; SCHOFFEL, A.; KOEFENDER, J.; CAMERA, J. N.; GOLLE, D. P.; HORN, R. C.; Ciclagem de nutrientes por plantas de cobertura de verão. **Revista de Ciências Agrárias**, v.40 (4): 799-807, 2017.

RAIJ, B. V.; Fertilidade do solo e manejo de nutrientes. Piracicaba: International Plant Nutrition Institute, 2011, 420p.

REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; BRAIDA, J. A. Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. **Ciência Ambiental**, 27: 29-48, 2003.

REYNOLDS, W.D.; BOWMAN, B.T.; DRURY, C.F.; TAN, C. S.; LU, X. Indicators of good soil physical quality: density and storage parameters. **Geoderma**, v.110, p. 131-146, 2002.

RYSER P, LAMBERS H (1995) Root and leaf attributes accounting for the performance of fast- and slow-growing grasses at different nutrient supply. **Plant Soil**, v.170 p251–265.

SALET, R.L Dinâmica de íons na solução de um solo submetido ao sistema plantio direto. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande Sul, 1994. 111p.

SANTOS, H.P.; TOMM. G.O.; Disponibilidade de nutrientes e teor de matéria orgânica em função de sistemas de cultivo e de manejo de solo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.33, n.3, p.447-486, 2003.

SANTOS, H. P.; TOMM. G. O.; KOCHHANN, R. A.; Rendimento de grãos de milho em função de diferentes sistemas de manejo de solo e de rotação de culturas. **Revista Brasileira Agrociência**, v.9, p.251-256, 2003.

SCHICK, J.; BERTOL, I.; COGO, N.P; GONZÁLEZ, A.P. Erosividade das chuvas de Lages, Santa Catarina. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 38:1890-1905, 2014.

SECCO, D.; DA ROS, C. O.; SECCO, J. K.; FLORIN, J. E.; Atributos físicos e produtividade de culturas em um Latossolo Vermelho argiloso sob diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, p.407-414, 2005.

SILVA, I. F.; MIELNICZUK, J.; Sistemas de cultivo e características do solo afetando a estabilidade de agregados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.22, p.311-317, 1998.

SILVA, M. A. S.; MAFRA, A. L.; ALBUQUERQUE, J. A.; BAYER, C.; MIELNICKZUK, J.; Atributos físicos do solo relacionados ao armazenamento de água em um Argissolo Vermelho sob diferentes sistemas de preparo. **Ciência Rural**, v.35, p.544-552, 2005.

SILVA, M. A. S.; MAFRA, A. L.; ALBUQUERQUE, J. A.; ROSA, J. D.; BAYER, C.; MIELNICZUK, J.; Propriedades físicas e teor de carbono orgânico de um argissolo vermelho sob distintos sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.30, p.329-337, 2006.

SOBRINHO, T. A.; VITORINO, A. C. T.; SOUZA, L. C. F.; GONÇALVES, M. C.; CARVALHO, D. F.; Infiltração de água no solo em sistemas de plantio direto e convencional. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. V.7, p.191-196, 2003.

SOUZA, Z. M.; ALVES, M. C.; Propriedades químicas de um Latossolo Vermelho Distrófico de Cerrado sob diferentes usos e manejos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, p.133-139, 2003.

STONE, L. F.; SILVEIRA, P. M.; Efeitos do sistema de preparo e da rotação de culturas na porosidade e densidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.25 p. 395-401, 2001.

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

VEZZANI, F. M.; MIELNICZUK, J.; Uma visão sobre a qualidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33; p. 743-755, 2009.

VIEIRA, F.C.B.; BAYER, C.; ZANATTA, J.; ERNANI, P.R. Organic matter kept Al toxicity low in a subtropical no-tillage soil under long-term (21-year) legume-based crop system and N fertilisation. **Australian Journal of Soil Research**, v.47, p. 707-714, 2009.