

UNIVERSIDADE DE PASSO FUNDO
FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

**PROPRIEDADES FÍSICO-HÍDRICAS DE LATOSSOLOS SOB
PLANTIO DIRETO E SUA RELAÇÃO COM A
TRABALHABILIDADE**

Djulia Taís Broch

Passo Fundo, 2019

Djulia Taís Broch

PROPRIEDADES FÍSICO-HÍDRICAS DE LATOSSOLOS SOB PLANTIO DIRETO
E SUA RELAÇÃO COM A TRABALHABILIDADE

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da Universidade de Passo Fundo, como requisito parcial para obtenção de título de doutora em Agronomia.

Orientador:
Wilson Antonio Klein

Passo Fundo, 2019

CIP – Catalogação na Publicação

B863p Broch, Djulia Taís

Propriedades físico-hídricas de latossolos sob plantio direto e sua relação com a trabalhabilidade / Djulia Taís Broch. – 2019.

88 f. : il. color. ; 30 cm.

Orientador: Prof. Dr. Vilson Antonio Klein.

Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade de Passo Fundo, 2019.

1. Semeadura. 2. Latossolos. 3. Plantio (Cultivo de plantas). I. Klein, Vilson Antonio, orientador. II. Título.

CDU: 631.4

ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO



PPGAgro
Programa de Pós-Graduação
em Agronomia

A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova a tese

“Propriedades físico-hídricas de latossolos sob plantio direto e sua relação com a trabalhabilidade”

Elaborada por

Djulia Taís Broch

Como requisito parcial para a obtenção do grau de
“Doutora em Agronomia – Área de Produção e Proteção de Plantas”

Aprovada em: 09/08/2019
Pela Comissão Examinadora

Dr. Wilson Antônio Klein
Presidente da Comissão Examinadora
Orientador

Dr. Geraldo Luiz Chavarria Lamas Junior
UPF

Dr. Marcio Luis Vieira
IFRS - Sertão

Dr. Walter Boller
UPF

Dr. Clovis Dalri Marcolin
IFRS - Sertão

Dr. Edson Campanhola Bortoluzzi
Coordenador PPGAgro

Dr. Eraldo Lourenço Zanella
Diretor da Faculdade de Agronomia e Medicina
Veterinária, Universidade de Passo Fundo

DEDICATÓRIA

À minha família, que com muito carinho e apoio, não mediram esforços para que eu chegasse até aqui.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, à minha família, pelo apoio, incentivo e carinho.

Ao meu orientador, professor Vilson Antonio Klein, pela oportunidade, conhecimento transmitido, amizade e apoio.

A todos os colegas do LAFAS, especialmente Manuelli, Délcio, André, Felipe, Bruno, Kassiano, Caiano, Ígor e Thiago pela amizade, ajuda e apoio em todos os momentos.

Aos professores que tive ao longo de toda a trajetória escolar, da graduação e especialmente aos do PPGAgro, pelos ensinamentos e troca de experiências.

À UPF e a Capes, pelo apoio financeiro com bolsa de estudos.

Aos meus amigos, pelo companheirismo nestes anos.

“Uma geração vai, e outra geração vem; porém a terra para sempre permanece.”

(O Tempo e o Vento - Érico Veríssimo)

RESUMO

BROCH, Djulia Taís. Propriedades físico-hídricas de latossolos sob plantio direto e sua relação com a trabalhabilidade. 2019. 88 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2019.

O solo é o principal substrato utilizado pelas plantas, tornando importante o conhecimento do armazenamento de água e sua relação com os atributos do solo. A semeadura em condições inadequadas de umidade é capaz de acarretar aderência do solo nos dispositivos do implemento, o que acaba por alterar a profundidade de semeadura, gerando problemas no estabelecimento da cultura. O conhecimento a respeito da trabalhabilidade do solo pode reduzir o risco de degradação e a necessidade de energia para as operações. O objetivo desse trabalho foi determinar a relação entre as propriedades físico-hídricas e a trabalhabilidade de Latossolos conduzidos sob plantio direto. Foram coletadas amostras com estrutura preservada e não preservada em cinco profundidades de cinco solos do Rio Grande do Sul, sob sistema plantio direto. Determinaram-se a composição granulométrica, o teor de matéria orgânica (MO), a densidade do solo (DS), a densidade do solo máxima (Dsmáx), a densidade relativa (DR), a umidade na capacidade de campo (CC) e no ponto de murcha permanente (PMP), a porosidade total (PT) e a distribuição do diâmetro dos poros, a consistência do solo, sua curva de retenção de água, intervalo hídrico ótimo (IHO), teor de água onde ocorre a aderência do solo e a germinação de sementes de soja. Os resultados mostraram que os solos coletados apresentaram distintas composições granulométricas e teores de matéria orgânica. Os valores obtidos de DS variaram entre 1,167 a 1,660 g/cm³, por sua vez valores altos de DR encontrados indicaram solos compactados. Elevados valores de resistência a penetração (RP) proporcionaram um limite inferior do IHO diminuto. Os solos com mais areia em sua composição tenderam a reter menos água, enquanto os mais argilosos demonstraram uma maior retenção. A umidade ótima de compactação (UOC) aumentou com o teor de argila e MO do solo. O teor de água no solo onde iniciou-se a aderência do solo no dispositivo de semeadora teve uma amplitude de 0,236 a 0,340 g/g dentre os solos estudados, esta foi influenciada pelos teores de argila e MO. A umidade do solo na qual ocorreu a germinação de sementes de soja variou entre 0,150 e 0,302 g/g, sendo influenciada pelo seu teor de argila. As propriedades físico-hídricas do solo têm relação com a trabalhabilidade. A UOC é inferior a aderência, devendo esta ser observada para que se estabeleça uma janela de semeadura adequada.

Palavras-chave: 1. Semeadura. 2. friabilidade. 3. aderência do solo. 4. germinação de sementes.

ABSTRACT

BROCH, Djulia Taís. Physical water properties of no-tillage oxisols and their relationship with workability. 2019. 88 f. Thesis (Doctor in Agronomy) - University of Passo Fundo, Passo Fundo, 2019.

The soil is the main substrate used by plants, becoming important the knowledge of water storage and the relationship with the attributes of the soil. Sowing under inadequate moisture conditions can result in the adherence of the soil to implement devices, changing the sowing depth and developing problems in the establishment of the crop. Knowledge about soil workability can reduce the risk of degradation of it and the energy required for the machine operations. The goal of this research was to set a relationship between physical-hydrological properties and the workability of LATOSSOLOS (oxisol) conducted under no-tillage. Samples with preserved and not preserved structure were collected at five depths of five soils in Rio Grande do Sul (BR), under no-tillage system. Particle size, organic matter (MO), soil density (DS), maximum soil density (D_{smax}), relative density (DR), the moisture on the field capacity (CC) and permanent wilting point (PMP), total porosity (PT) and the distribution of the pores diameter, soil consistency, water retention curve, optimal water range (IHO), water content of the soil where adhesion occurs and germination of soybean seeds. The results proved that the collected soils show different granulometric compositions and organic matter contents. The values obtained for the DS range were 1,167 to 1,660 g / cm³, therefore higher DR values found, indicated soil compaction. Higher penetration resistance (RP) values provide a lower limit than decreased IHO. Soils with more sand in their composition retain less water, while the clay ones showed greater retention. The optimal compaction moisture (UOC) increased with clay soils and MO content. The soil water content, where soil adherence at the seeding device began, had a range of 0.236 to 0.340 g / g among the studied soils, which was influenced by clay and MO contents. The soil moisture that occurred soybean seeds germination ranged from 0.150 to 0.302 g / g, being influenced by the clay content. The physical-hydrological properties are related to soil workability. The UOC is lower than the adherence and might be observed to establish a proper sowing window.

Key words: 1. Seeding.. 2. friability. 3. soil adhesion. 4. seed germination.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	REVISÃO DA LITERATURA	14
2.1	<i>Propriedades físico-hídricas de solos sob plantio direto</i>	14
2.2	<i>Compactação do solo</i>	15
2.3	<i>Trabalhabilidade do solo</i>	17
2.4	<i>Friabilidade do solo</i>	19
2.5	<i>Plantabilidade</i>	19
2.6	<i>Semeadura</i>	21
2.6.1	<i>Semeadora-adubadora</i>	22
2.7	<i>Aderência do solo</i>	24
3	MATERIAL E MÉTODOS	27
3.1	<i>Localização e amostragem dos solos</i>	27
3.2	<i>Análise granulométrica</i>	27
3.3	<i>Matéria orgânica</i>	28
3.4	<i>Densidade do solo</i>	28
3.5	<i>Densidade máxima e densidade relativa do solo</i>	28
3.6	<i>Densidade dos sólidos do solo e porosidade total</i>	29
3.7	<i>Consistência do solo</i>	29
3.7.1	<i>Limite Líquido</i>	29
3.7.2	<i>Limite plástico</i>	29
3.8	<i>Água no solo</i>	30
3.8.1	<i>Capacidade de campo</i>	30
3.8.2	<i>Ponto de murcha permanente</i>	30
3.8.3	<i>Distribuição do diâmetro dos poros</i>	30
3.9	<i>Curva de retenção de água no solo (CRA)</i>	31
3.10	<i>IHO</i>	31
3.11	<i>Aderência</i>	32
3.12	<i>Germinação</i>	33
3.13	<i>Análise estatística</i>	34
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	35
4.1	<i>Propriedades físico-hídricas de solos sob plantio direto</i>	35
4.1.1	<i>Composição granulométrica</i>	35

4.1.2	Densidade dos sólidos do solo, porosidade total e classes de poros	37
4.1.3	Densidade do solo, densidade do solo máxima e densidade Relativa	39
4.2	<i>Água no solo</i>	44
4.2.1	Intervalo Hídrico Ótimo	44
4.2.2	Curva de retenção de água no solo (CRA)	45
4.2.3	Umidade ótima de Compactação	50
4.2.4	Consistência do solo	52
4.2.5	Aderência do solo	59
4.2.6	Germinação de sementes	61
4.2.7	Análise conjunta de atributos físicos do solo relacionados a umidade do solo	67
5	CONCLUSÃO	75
	REFERÊNCIAS	76

1 INTRODUÇÃO

O solo é componente fundamental do ecossistema terrestre, já que é o principal substrato utilizado pelas plantas para o seu desenvolvimento, fornecendo às raízes suporte, água, oxigênio e nutrientes, sendo a base da produção agropecuária. Por isso, seu adequado manejo é de vital importância para manutenção desta produção. Seu uso inadequado tem proporcionado inúmeros problemas, dentre os quais a compactação do solo, que tem gerado perdas em rendimento e que é ocasionada principalmente por operações, como a semeadura, realizadas sem que se leve em consideração as condições adequadas de umidade do solo.

A semeadura em condições inadequadas de umidade é capaz de acarretar aderência do solo nos dispositivos do implemento, o que acaba por alterar a profundidade de semeadura. Estas alterações geram problemas no estabelecimento da cultura, ocasionando deficiências no estado de plantas e, conseqüentemente, na produtividade da cultura.

A recomendação técnica da umidade ideal para semeadura é de que a mesma deve ser realizada na condição de friabilidade do solo, onde os teores de água permitem uma boa qualidade da operação realizada. No entanto, esta é determinada apenas por uma avaliação visual, de forma subjetiva. A determinação da umidade em que os solos adquirem características friáveis é importante, pois assim, seria possível definir as faixas de umidade em que poderão ser feitos preparos ou semeadura afetando ao mínimo a estrutura do solo.

O manejo adequado da semeadura tem papel determinante no potencial produtivo de uma lavoura. Esta, deve formar um ambiente no solo que possibilite a absorção de água pelas sementes e condições adequadas ao processo de germinação, possibilitando um bom estabelecimento, rápido e uniforme de uma população de plantas desejada.

As plantas necessitam de condições físicas do solo favoráveis para o seu desenvolvimento e produtividade. Essas condições determinam os fluxos de água, calor e gases no solo. A umidade do solo, por sua vez, tem efeitos sobre a aeração, a temperatura e a resistência mecânica à penetração das raízes, as quais são afetadas pela densidade do solo e distribuição do tamanho de poros.

O objetivo desse trabalho foi determinar a relação entre as propriedades físico-hídricas e a trabalhabilidade de Latossolos conduzidos sob plantio direto. A hipótese que se formula é de que a semeadura em umidade ideal reduz compactação do solo e melhora a plantabilidade.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Propriedades físico-hídricas de solos sob plantio direto

O Sistema Plantio Direto (SPD) consiste de um manejo com mínimo revolvimento do solo. Aliado a prática de rotação de culturas, favorece o acúmulo de matéria orgânica (MO) pela menor taxa de decomposição e menores perdas por erosão. O não revolvimento e o acúmulo de MO provocam alterações nos atributos físico-hídricos do solo, que podem ser benéficas (SILVA, 2011). Apesar dos inúmeros benefícios proporcionados por este sistema, alguns problemas vêm sendo percebidos nas áreas agrícolas, especialmente relacionados à compactação das camadas superficiais em função do tráfego de máquinas sem que se considere a relação rodado/solo e em umidades inadequadas (PALMA et al., 2013).

A adoção do SPD visa preservar a qualidade do solo e do ambiente, juntamente com a obtenção de elevadas produtividades das culturas de interesse econômico (CARVALHO et al., 2004). No entanto, em várias situações ocorre o aumento da densidade do solo (DS) e diminuição da macroporosidade em SPD, ou seja, compactação do solo (STONE et al., 2002). Na região do Planalto Médio do Rio Grande do Sul, a compactação é um dos fatores mais limitantes nas lavouras conduzidas sob este sistema (AMADO et al., 2005). Esta introdução e intensificação no uso do SPD nas últimas décadas tem aumentado a preocupação com os atributos físicos dos solos (MAZURANA et al., 2011). Dentre as principais, a estrutura é um dos mais importantes fatores já que exerce influência direta na retenção de água no solo (KLEIN et al., 2010).

Muitas práticas inadequadas de manejo são adotadas em solos sob SPD, como: incipiente rotação de culturas, cobertura insuficiente, manejo inadequado do sistema integração lavoura-pecuária, uso de máquinas cada vez maiores sem que se considere a relação entre rodado/solo, operações sem considerar a umidade adequada do solo,

ausência de práticas mecânicas para manejo de enxurrada, abandono da semeadura em contorno, entre outras. Tais práticas ocasionam problemas como o aumento da DS e da resistência do solo à penetração, redução da porosidade e da taxa de infiltração de água no solo, deformação morfológica de raízes e concentração de raízes na camada superficial do solo, ocorrência de erosão, com arraste de nutrientes, fertilizantes e corretivos pela enxurrada e prematura expressão de déficit hídrico (DENARDIN et al., 2012).

No SPD, a semeadura é feita com revolvimento do solo somente na linha. O ambiente do solo em torno da semente, condiciona o sucesso do desenvolvimento da cultura, bem como sua produção. Os principais fatores físicos desse ambiente, como temperatura, umidade e aeração, são diretamente influenciados pelo tipo de mecanismo de abertura do sulco (REIS et al., 2006).

2.2 Compactação do solo

A compactação é uma alteração estrutural que acarreta reorganização das partículas e de seus agregados podendo limitar a adsorção, as trocas gasosas, absorção de nutrientes, infiltração e redistribuição de água, atraso na emergência das plântulas e comprometimento do desenvolvimento do sistema radicial e da parte aérea, resultando em decréscimos na produtividade das culturas (MODOLO et al., 2008). Esta é considerada uma das principais ameaças à manutenção da qualidade do solo em áreas agrícolas (KELLER et al., 2013).

A DS é uma propriedade muito utilizada para caracterizar fisicamente a estrutura do solo, constituindo um indicador de sua compactação (ASSIS; LANÇAS, 2005). Os solos apresentam variações de DS de acordo com suas características mineralógicas, de textura e de teor de matéria orgânica (BRADY; WEIL, 2008). Por ser uma característica variável no tempo, espaço e profundidade, o uso de seus valores como indicativo de problemas físicos é questionável. Neste sentido, em 1933, Ralf Proctor publicou uma série de artigos nos quais pela primeira vez se enuncia um dos mais importantes princípios da mecânica dos solos, o de que a compactação do solo é dependente da energia aplicada e da umidade do solo no momento da compactação (VARGAS, 1977). Desses estudos

surgiu o ensaio de Proctor normal, uma metodologia usual (FIGUEIREDO et al., 2000), que consiste em compactar amostras de solo com diferentes umidades a fim de se obter uma relação entre DS e Ug. Com a equação da curva de compactação do ensaio de Proctor normal é possível obter matematicamente a desidade de solo máxima (Dsmáx) e a umidade ótima de compactação (UOC).

Visando normalizar os limites de DS, em função da textura e outras propriedades do solo, tem sido utilizado o conceito de densidade relativa do solo (DR) ou grau de compactação (BEUTLER et al., 2005) que é a relação da DS com sua Dsmáx obtida pelo ensaio de Proctor normal (KLEIN, 2006). O estudo da DR do solo surgiu da necessidade de se encontrar um indicador para caracterizar o estado de compactação que independesse de sua composição granulométrica e teor de MO.

Em solos siltosos, Broch e Klein (2017), encontraram efeito do teor de silte e MO sobre a DS, enquanto não houve efeito na DR. Isto reforça seu potencial de uso como indicador de qualidade do solo, independentemente da sua classe textural, ao contrário da avaliação somente da densidade do solo, que é intimamente relacionada à granulometria (REICHERT et al., 2009) e a matéria orgânica (BRAIDA et al., 2010).

A compactação do solo vem se agravando nos últimos anos com a utilização de máquinas cada vez maiores e mais pesadas, sem o aumento proporcional da área de contato pneu-solo, exercendo uma maior pressão (ZERBINATI, 2010). Além disso, por muitas vezes essas operações serem realizadas sem considerar o teor de água do solo no ponto de friabilidade (RICHART et al., 2005).

O uso de operações mecanizadas com umidade do solo próxima ao limite de plasticidade é um fator crítico, uma vez que a água reduz a coesão e atua como lubrificante entre as partículas de solo, permitindo o deslizamento das partículas quando este é submetido a algum tipo de pressão. Por isso, se faz necessário entender a dinâmica da compactação, avaliando os limites de Atterberg e sua relação com a densidade do solo (LUCIANO et al., 2012).

O aumento da compactação dos solos submetidos a SPD, foi demonstrada em vários estudos (TORMENA et al., 1998; SECCO, 2003). Klein & Boller (1995) encontraram densidade maior na camada superficial no SPD. Bilibio et al. (2010), avaliando atributos físicos do solo em diferentes sistemas de manejo, concluíram que o uso intensivo deste promove compactação subsuperficial, com redução da relação macro/microporos, acompanhada pelo aumento da densidade do solo.

Em virtude da complexa interação entre os fatores físicos, em cada condição estrutural do solo, existe uma faixa ótima de umidade que favorece o crescimento vegetal (LETEY, 1985). Em razão dessas interações, Silva et al. (1994) propuseram um índice para avaliar a qualidade estrutural do solo denominado intervalo hídrico ótimo (IHO). Esse índice considera a faixa de umidade do solo como sendo aquela onde as limitações ao crescimento vegetal, associadas à umidade, aeração e resistência mecânica à penetração de raízes, são minimizadas, servindo como indicativo da qualidade física do solo e também na avaliação do manejo do solo e culturas (COLLARES et al., 2006)

A determinação do teor de água adequado à realização das atividades mecanizadas revela-se de grande importância, uma vez que, muitas vezes, na tentativa de se atender a um cronograma de trabalho, não se considera a faixa de umidade ideal para as atividades agrícolas, o que aumenta os riscos de degradação física (SILVA et al., 2006).

2.3 Trabalhabilidade do solo

O solo é considerado viável quando as operações de lavoura produzem um leito de semeadura adequado para o estabelecimento de culturas, sem ocasionar compactação (MULLER et al., 2011). Isso depende de uma combinação de sistemas de cultivo e fatores, incluindo o teor de água no solo, densidade, textura e matéria orgânica. O teor de água no solo é um dos fatores que mais influenciam a capacidade dos solos de apoiar e resistir ao tráfego sem degradação (EDWARDS et al., 2016).

Trabalhabilidade é a possibilidade de conduzir uma operação seguindo um certo método de trabalho em relação às condições do material, o solo e o clima. Para trabalhar

um solo existe um ponto de umidade considerada ótima e efetuar manejos com esta umidade resulta em melhor qualidade do trabalho em geral (SCHLOSSER, 1998).

O conhecimento a respeito da trabalhabilidade e trafegabilidade do solo, pode ser usado para estimar o número de dias em que os solos podem ser trabalhados sem causar dano como resultado da compactação (EARL, 1997). Informações quantitativas sobre o teor ótimo de água para o manejo do solo, podem ser usadas por agricultores e gestores ambientais para melhorar seu sistema de apoio à tomada de decisão para planejar e otimizar as operações de preparo (BOCHTIS et al., 2014). Isto pode ajudar a melhorar a estrutura do solo sob plantio direto, bem como reduzir o risco de degradação e a necessidade de energia para as operações (OBOUR et al., 2017).

A trafegabilidade preocupa-se com a capacidade do solo para fornecer tração adequada para veículos, e suportar o tráfego sem excesso de compactação ou dano estrutural (CAMPBELL; O'SULLIVAN, 1991). Já a trabalhabilidade preocupa-se com o as operações que envolvem o solo. Pode ser considerada como uma combinação de trafegabilidade e capacidade do solo de ser manipulado de forma desejada, sem causar danos significativos ou compactação (EARL, 1997). O fator mais influente na determinação e na adequação do solo às operações de campo é o estado de umidade. O ponto ideal é determinado quando é possível um trator operar com o mínimo esforço, promovendo os melhores resultados nos serviços realizados.

O manejo do solo sob condições muito úmidas desestabiliza sua estrutura, aumentando o risco de compactação (DEXTER; BIRD, 2001). Da mesma forma, cultivar solos muito secos requer mais energia e acaba por pulverizar mais o solo (HADAS; WOLF, 1983). O teor ótimo de água para o cultivo é definido como o teor de água, onde as operações de manejo do solo produzem o número máximo de agregados pequenos e o número mínimo de torrões (DEXTER; BIRD, 2001).

O conhecimento da trabalhabilidade do solo é importante para agendar o preparo do solo e outras operações e para reduzir o risco de degradação estrutural induzida pelo

preparo do solo. A trabalhabilidade é uma condição de solo desejável durante o cultivo (OBOUR et al., 2017).

2.4 Friabilidade do solo

As atividades agrícolas devem ser realizadas com o solo no estado de friabilidade, que corresponde à faixa de umidade entre os limites de contração e plasticidade. Neste estado, o solo está úmido, demonstrando as condições ideais de preparo do solo sendo, portanto, a faixa de friabilidade definida como a faixa de trabalhabilidade do solo (HILLEL, 1980).

A trabalhabilidade e a friabilidade do solo são parâmetros necessários a serem considerados na criação de um leito de semeadura adequado para estabelecimento de culturas e crescimento. A friabilidade é uma condição de solo desejável para o plantio direto e existem diferentes métodos de campo e laboratório para quantificá-la. A quantificação da friabilidade pode ser usada para avaliar a trabalhabilidade do solo e os efeitos de manejo nas condições estruturais do solo e na qualidade física (MUNKHOLM, 2011). Assim, a friabilidade e a trabalhabilidade do solo estão estreitamente interligadas (OBOUR et al., 2017).

Na condição de friabilidade, a umidade do solo permitiria bom rendimento operacional (GASSEN; GASSEN, 1996). Nesta condição ainda ocorre uma menor compactação e ao mesmo tempo a menor aderência do solo aos implementos agrícolas. Por outro lado, a semeadura realizada em solo seco resulta em menor eficiência dos dispositivos sulcadores, que, por sua vez, ocasiona menor contato solo-semente (KONDO; DIAS JÚNIOR, 1999).

2.5 Plantabilidade

A plantabilidade do solo é definida como a quantidade de sementes, com espaçamento corretos (perfeição de distribuição) por unidade de área e na profundidade correta. É dependente da semente (qualidades, classificação, pureza), da semeadora

(máquina, mecanismo dosador, condutor de sementes, regulagens, velocidade de operação, interação com solo), do solo (preparo, umidade, cobertura, textura, preparo: direto x convencional, textura), da umidade (adesão a mecanismos, disponibilidade na superfície) e da cobertura do solo (quantidade, forma de manejo, espécie vegetal, tempo de dessecação) (CONTE et al., 2008).

O termo plantabilidade consiste no estabelecimento de uma população correta de plantas no momento da semeadura. Engloba fatores relacionados a máquina, solo e planta, visando o melhor estabelecimento da cultura (HEIFFIG et al., 2006). É afetada por fatores do ambiente e fatores físicos ou mecânicos, como por exemplo o teor de água, tipo do solo, grau de compactação da camada superficial, profundidade de semeadura, velocidade e grau de mobilização do sulco de semeadura desejado (ANDREOLLA, 2006).

A plantabilidade evidencia a quantidade de plantas com espaçamentos corretos por unidade de área, tendo efeito na expressão do potencial produtivo de uma cultura, que é dependente de que o processo de semeadura seja bem realizado (SCHUCH & PESKE, 2012). Além dos fatores edafoclimáticos, a população de plantas de soja torna-se fator preponderante para obtenção de altos rendimentos (GAUDÊNCIO et al., 1990). Não só o excesso de plantas, mas também as falhas ocasionam a queda de rendimento em lavouras, sendo estas falhas provenientes de características relacionadas às semeadoras, ou pela interação de fatores, principalmente os relacionados às sementes e ao preparo do solo (WEIRICH NETO, 1999). A melhor distribuição de plantas na área pode contribuir para o aumento da produtividade, pois permite o melhor aproveitamento da água, da luz e dos nutrientes disponíveis no solo (RAMBO et al., 2003).

Em solos argilosos no Paraná, Araújo et al. (2001) estudaram a plantabilidade de soja sobre diferentes compactações e verificaram problemas nas maiores densidades do solo, que apresentaram abertura irregular do sulco, menor profundidade de semeadura, menor contato solo-semente, afetando negativamente a uniformidade de distribuição, germinação e emergência das sementes.

2.6 Semeadura

Uma das principais etapas da condução de uma lavoura é a semeadura, dessa forma, necessita de planejamento adequado (BERTELLI et al., 2016). A semente, por sua vez, é um dos insumos agrícolas com a maior importância, já que conduz ao campo a carga genética determinante ao desempenho da cultivar, contribuindo no sucesso do estabelecimento e desenvolvimento da cultura (MARCOS FILHO, 2005).

O sucesso do estabelecimento de uma cultura depende ainda do ambiente no solo. Especialmente em culturas anuais a semeadura adquire grande importância e eventuais problemas somente serão detectados após a emergência das plantas e seu desenvolvimento, momento em que uma possível correção se torna difícil e onerosa, comprometendo a produtividade da cultura (MODOLO et al., 2008).

A operação de semeadura visa possibilitar estabelecimento rápido e uniforme da população de plantas desejada, formar um ambiente que possibilite a absorção de água pelas sementes e disponibilidade de oxigênio adequadas ao processo de germinação. Deseja-se que a germinação se dê o mais rápido possível, visto a reduzir o risco de ataque de pragas e patógenos do solo. Para que isto ocorra é necessário o contato total com o solo de modo a acelerar a absorção de água. Um adequado contato solo-semente favorece a transferência de água do solo para a semente, sendo assim pré-requisito para uma rápida emergência e bom estabelecimento da cultura (PERDOK; KOUWENHOVEN, 1994).

Para que haja germinação e emergência da plântula, a semente de soja requer absorção de água de, pelo menos, 50% da sua massa seca. Semeadura em solo com insuficiência hídrica, prejudica o processo de germinação, podendo torná-lo mais lento, reduzindo a chance de obtenção da população de plantas desejada. Não existem ainda critérios bem definidos sobre qual o teor de água suficientemente elevado no solo para germinação das sementes (WUEST; LUTCHER, 2012).

Para que as sementes encontrem condições favoráveis ao desenvolvimento de seu sistema radicular, é necessário um ambiente solo adequado. No entanto algumas

características como umidade durante o preparo, o teor de argila e de matéria orgânica do solo, a profundidade de mobilização e o tipo de equipamento utilizado podem levar a modificações da estrutura do solo (DE MARIA, 1999).

Para ocorrer a germinação é necessário que o teor de água do solo seja adequado e que a relação solo-água-semente seja favorável ao desencadeamento desse processo. A textura do solo influencia o grau de contato semente-água, fazendo com que as respostas à germinação para um mesmo teor de água sejam diferentes para solos argilosos ou arenosos (ABREU et. al., 2005).

O fator inicial e essencial que determina a germinação de sementes viáveis e não dormentes é a disponibilidade de água para a embebição. A quantidade de água necessária para a embebição das sementes geralmente é pequena e a difusão da água ocorre em um gradiente de energia no sentido de alto para baixo potencial hídrico (BEWLEY; BLACK 1994).

A embebição é o processo que inicia a germinação. É o primeiro evento chave que modifica a semente, que se constituía de um organismo com pequena quantidade de umidade, quiescente e dormente, para começar o crescimento do eixo embrionário. Conseqüentemente, deve ocorrer uma transição ordenada do aumento da hidratação, da ativação de enzimas, do desdobramento de produtos de reserva e o início do desenvolvimento da plântula (WILCOX ; FRANKENBERGER,1987).

O processo de germinação depende das condições em que se encontra o solo, porém este nem sempre oferece um ambiente ideal para o desenvolvimento das sementes. O estresse hídrico logo após a semeadura interfere diretamente nas atividades enzimáticas da planta, reduzindo o rendimento das cultivares e causando prejuízo ao produtor (GARCIA et al., 2012).

2.6.1 Semeadora-adubadora

Semeadoras são máquinas agrícolas destinadas a semeadura de culturas. Quando se fala em semeadura também pode-se associar paralelamente a adubação, pois, atualmente, grande parte das máquinas disponíveis no mercado é dotada deste mecanismo e desempenha as operações simultaneamente (ABNT, 1994).

No SPD, um dos equipamentos de maior importância para o sucesso da lavoura são as semeadoras, uma vez que realizam o preparo localizado do sulco utilizando mecanismos rompedores para cortar a palha e depositar fertilizantes e sementes, bem como mecanismos de cobertura para melhorar a deposição da palha e do solo sobre o sulco anteriormente mobilizados, agindo positivamente no ambiente germinativo das sementes (MAHL et al., 2008). Tais mecanismos de manejo do sulco, como os de cobertura, proporcionam efeitos diferenciados na linha, modificando o ambiente físico do solo quanto à área mobilizada e a profundidade das sementes (FALLAHI; RAOUFAT, 2008).

Uma semeadora-adubadora para plantio direto deve cortar a palha, abrir um sulco satisfatório com pequena mobilização de solo e palha, dosar o fertilizante e as sementes na quantidade determinada e depositá-los em profundidades adequadas, cobrir sementes com solo e palha e, por fim, compactar o solo lateralmente à semente, melhorando o contato solo-semente (SIQUEIRA; CASÃO Jr., 2004). Deve distribuir no solo uniformemente as sementes e fertilizante na quantidade desejada, proporcionando bom estabelecimento e produtividade à cultura implantada (MACHADO et al., 2005).

Diversos fatores exercem influência no desempenho de dispositivos sulcadores das semeadoras, como a cultura, velocidade de operação, posição e condições de solo, como teor de água, densidade e compactação (SIQUEIRA, 2012).

Alguns estudos buscam estudar a relação existente entre máquina, solo e planta no processo de semeadura, especialmente quanto a utilização de rodas compactadoras. Hummel et al. (1981) verificaram efeito da roda compactadora sobre o solo ao redor da semente, constatando que o nível de compactação aplicada pode ser ou não benéfica, dependendo de fatores como do tipo e teor de água do solo e das condições climáticas

entre o período de semeadura e emergência. Para Furlani et al. (2001), não ocorreu influência em três profundidades de semeadura da cultura do milho com quatro níveis de compactação do solo sobre as sementes, sobre o número médio de dias para emergência. A velocidade de emergência e a emergência total das plantas de feijoeiro foram afetadas pelas pressões de compactação em estudo feito por Silva et al. (1991). Prado et al. (2001), observando os efeitos da compressão do solo e da profundidade de semeadura no índice de velocidade de emergência (IVE), constataram que a baixa compressão do solo ao redor da semente reduziu o IVE, devido à menor taxa de transmissão de água.

2.7 Aderência do solo

A interação entre água e sólidos do solo altera o seu comportamento. As interações solo-água influenciam muitas funções ecológicas e práticas de manejo do solo (BRADY; WEIL, 2008). Em SPD o armazenamento de água tende a ser maior, devido a uma alteração na geometria porosa e de MO. Ou seja, quando comparado ao cultivo convencional ocorre uma modificação da dinâmica de água neste sistema (REICHERT et al., 2007).

No solo, a água está intimamente associada com partículas sólidas. A interação entre água e sólidos do solo altera o comportamento de ambos, promovendo a expansão e contração das partículas do solo, a aderência e a formação estrutural dos agregados. As mesmas forças que atraem as moléculas de água entre si, a coesão e tensão, também atraem as moléculas de água para superfícies sólidas, um processo conhecido como aderência (BRADY & WEIL, 2008).

O fenômeno da adesão do solo ocorre quando há contato com a interface de um sólido. A resistência ao deslizamento é dependente da adesão e do ângulo de atrito entre o solo e a superfície do equipamento. Para implementos, a qualidade de trabalho é reduzida e o consumo de energia é aumentado devido à adesão. A adesão nos componentes de semeadoras, tais como o sulcador e dispositivo de cobertura, diminui a taxa de germinação e emergência de plântulas, além de prejudicar a qualidade de adubação por causar alteração na distribuição do fertilizante (REN et al., 2001).

A adesão entre o solo e um objeto estranho é devido, em parte, a atração direta entre as partículas e o objeto, e, em parte, à ação adesiva da água no solo. A água exerce um papel dominante na adesão, quando um fluxo contínuo de água é formado entre um solo saturado e um sólido, a superfície busca alcançar um equilíbrio de umidade entre ambos, formando uma superfície de tensão superficial da água através dos meniscos (FOUNTAINNE, 1954). Akiyama & Yokoi (1972) consideraram que a pressão capilar da água e a superfície de tensão são fonte de adesão, indicando a importante ação da tensão superficial da água na aderência do solo.

Os fatores que afetam a adesão do solo incluem a textura, umidade, porosidade, conteúdo de matéria orgânica entre outros. Devido a isto, há diferença na aderência de diferentes solos, compostos de minerais diferentes. A adesão ainda é maior à medida que a proporção de partículas de argila no solo aumenta, visto que esta é composta de partículas menores e mais reativas, e alcança seu máximo quando a umidade do solo está entre o limite plástico e o limite líquido (CHANCELLOR, 1994). Para Brady & Weil (2008), a MO atua na retenção de água pelo solo melhorando-a, além de reduzir a plasticidade, coesão e aderência de solos argilosos, tornando-os mais fáceis de serem manejados.

As relações que ocorrem na interface solo-implemento são complexas, tendo efeito das propriedades físico-hídrico-mecânicas do solo e das características das ferramentas (KLEIN & LIBARDI, 2002). Um dos efeitos mais evidentes da aderência é a abertura de sulcos mais largos e o aumento da mobilização e o embuchamento, pois a palha deixa de ser cortada pelo aumento da área superficial do dispositivo de corte (ARAÚJO et al., 2001).

O ponto ideal de umidade para realização da semeadura no sistema plantio direto seria quando o solo apresenta baixa ou nenhuma aderência nos sulcadores. A ocorrência desta aderência proporciona aumento no diâmetro dos dispositivos do implemento, como rodas dosadoras e discos, causando alterações na profundidade de semeadura, aumentando a mobilização e o revolvimento pela maior abertura dos sulcos, gerando maior exposição do solo e trazendo para a superfície o solo de camadas subsuperficiais,

as quais por tenderem a ter menor teor de MO, tendem a apresentar maior aderência e podem diminuir a janela de semeadura em umidade favorável (ARAUJO et al., 2001).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização e amostragem dos solos

Amostras de cinco solos, conduzidos em plantio direto e classificados como Latossolos (STRECK, 2018), foram coletadas no Estado do Rio Grande do Sul (Tabela 1), com estrutura preservada e não preservada, nas camadas de 0 a 5, 5 a 10, 10 a 15, 15 a 20 e 20 a 25 cm de profundidade. Os locais de coleta foram selecionados visando-se obter amostras com diferentes composições granulométricas.

Tabela1. Localização dos cinco solos amostrados sob Sistema plantio direto. Passo Fundo-RS, 2019

Solo	Município (RS)	Código	Coordenadas geográficas	Altitude (m)
1	Horizontina	H	28°33'17.99''S 52°22'03.52''O	285
2	Alto Alegre1	LB	28°50'05.08''S 52°58'13.67''O	444
3	Passo Fundo1	PF	28°13'39.18''S 52°23'28.54''O	700
4	Alto Alegre2	AA	28°48'25.21''S 52°59'00.49''O	439
5	Passo Fundo2	FPS	28°13'25.21''S 52°17'12.25''O	733

3.2 Análise granulométrica

A análise granulométrica foi realizada pelo método da pipeta, proposto por Embrapa (2016). Para determinação, utilizou-se 40 g de solo seco em estufa 105 °C e passado na peneira com malha de 2,0 mm. Após foi adicionado 100 mL de solução dispersante ($\text{Na}_2\text{PO}_6 + \text{NaOH}$) e 250 mL de água, em um vidro de 600 mL, com posterior agitação mecânica recíprocante por 15 horas. Após dispersão das partículas do solo, a suspensão foi transferida para peneira de 0,053mm para reter toda areia, sendo as provetas

preenchidas até 1 litro. Após agitação manual foram realizadas duas pipetagens de 25 mL (RUIZ, 2005), a primeira para determinação da fração de silte + argila, imediatamente após a agitação, e a segunda em tempo observado conforme a temperatura da suspensão para determinação da fração silte (KLEIN, 2014).

3.3 Matéria orgânica

O teor de MO do solo foi determinado na rotina do laboratório de análises de solo na UPF, seguindo o método WalkleyBlack, descrito por Tedesco et al. (1995).

3.4 Densidade do solo

Para determinação da DS foi utilizado o método do cilindro volumétrico. A densidade foi determinada pelo quociente da massa seca do solo pelo volume do cilindro. Para isso, os cilindros foram colocados em estufa a 105 °C até massa constante (em torno de 24 horas) e, posteriormente, pesados para obter o valor da massa seca do solo (EMBRAPA, 2016).

3.5 Densidade máxima, densidade relativa do solo e umidade ótima de compactação

A densidade do solo máxima para cada solo foi determinada a partir do ensaio de Proctor normal, com 560 kPa de energia aplicada (NOGUEIRA, 1998). Esse ensaio consiste em compactar amostras de solo com diferentes umidades, passado em peneira com malha de 4,8 mm, em três camadas de aproximadamente 4 cm de espessura num cilindro de 1.000 cm³, utilizando um soquete com massa de 2,5 kg, que desce de uma altura de queda de 30 cm, sendo aplicados 26 golpes por camada. A partir dos dados obtidos, ajustou-se uma equação polinomial de 2º grau para os dados de DS em função do teor de água do solo, para cada um dos solos coletados, onde a primeira derivada da função permite estimar a UOC e a segunda, a Dsmáx (KLEIN, 2014).

A densidade relativa foi obtida pelo quociente entre a DS no campo e a Dsmáx.

3.6 Densidade dos sólidos do solo e porosidade total

A densidade de sólidos do solo (DSS) foi determinada para cada solo pela metodologia do balão volumétrico (EMBRAPA, 2016).

A porosidade total foi determinada pela equação:

$$PT = 1 - \frac{DS}{DSS}$$

Em que: PT é porosidade total (m³/m³), DS é densidade do solo (kg/m³), e DSS é densidade dos sólidos do solo (kg/m³).

3.7 Consistência do solo

3.7.1 Limite Líquido

A determinação do teor de água no solo do limite líquido do solo, foi baseada no método descrito pela Embrapa (2016). Amostras previamente umedecidas foram espalhadas na cápsula metálica do aparelho de Casagrande, a massa de solo foi cortada na sua parte central com o cortador próprio do aparelho e a manivela do aparelho foi girada, anotando-se o número de pancadas quando a ranhura central se fechar à espessura de 1,0 cm, utilizando-se as repetições quando o número de pancadas fosse entre 15 e 35, retirando-se uma amostra de solo da cápsula para determinar o teor de umidade em estufa a 105° C (KLEIN, 2014).

3.7.2 Limite plástico

Para a determinação do teor de água no solo referente à mudança do estado friável para o estado plástico, o limite de plasticidade é determinado através da metodologia descrita pela Embrapa (2016). Para tal, utilizou-se amostras de solo seco ao ar, umedecidas com antecedência. Moldou-se amostra na forma de um cilindro (rolinho), que

se fracture atingindo aproximadamente 3,0 mm de diâmetro, que ao fim do processo foram levadas a estufa a 105 °C por 24 horas para determinação de sua umidade gravimétrica (g/g) (KLEIN, 2014).

3.8 Água no solo

3.8.1 Capacidade de campo

A umidade do solo na capacidade de campo foi obtida colocando-se os cilindros com solo saturado em funis de Haines no potencial de -6,0 kPa. Após obter umidade constante, os cilindros foram pesados e levados à estufa a 105° C, calculando-se a umidade gravimétrica neste ponto, que multiplicada pela densidade do solo gera a umidade volumétrica do solo na capacidade de campo.

3.8.2 Ponto de murcha permanente

Para determinação do ponto de murcha permanente foi utilizado o psicrômetro modelo WP4-T, marca Decagon® Devices®. Cerca de três gramas de terra fina seca ao ar, peneiradas a 2,0 mm, foram colocados em cápsulas de aço inox. Dentro da cápsula, o solo foi umedecido com cerca de 1,0 mL de água e, em seguida, fechados com uma tampa de plástico, que permaneceu por 24 h para que ocorra a perfeita redistribuição da água em toda a amostra (KLEIN, 2014). Para determinação, a umidade na câmara do WP4-T entra em equilíbrio com o potencial da água no solo, sendo este calculado com base na temperatura do solo e do ar, no ponto de orvalho (SCALON et al., 2002). Após as medições as cápsulas foram levadas a estufa a 105 °C para determinação da massa de solo seco. Os pontos obtidos em diferentes potenciais foram plotados em um gráfico, e por meio da equação, se ajustou o teor de água no solo para o potencial de -1,5 MPa (KLEIN et al., 2006).

3.8.3 Distribuição do diâmetro dos poros

Realizou-se a determinação da distribuição do diâmetro dos poros em macroporos, microporos e criptoporos. Foram considerados macroporos, poros maiores que 0,05 mm (volume total de poros menos volume de água na capacidade de campo), micropopros, poros entre 0,05 e 0,0002 mm (volume de água na capacidade de campo menos o ponto de murcha permanente) e criptoporos, poros menores que 0,0002 mm, sendo o volume de criptoporos igual ao volume de água retida no ponto de murcha permanente (KLEIN, 2014).

3.9 Curva de retenção de água no solo (CRA)

Para determinação da CRA, amostras de solo indeformadas (TSFA) foram acomodadas em cilindros de 1,0 cm, os quais foram saturados e submetidos aos potenciais de 1,0; 3,0; 6,0; 9,0; 12,0 e 15,0 kPa utilizando funis de Haines, 100 e 300 kPa em câmara de Richards e 1500 kPa no WP4-T.

Os dados obtidos foram ajustados ao modelo sugerido com base no modelo proposto por van Genuchten (1980). Para obter a umidade volumétrica a partir de um potencial é preciso conhecer os parâmetros empíricos de ajuste para uso na equação de van Genuchten (KLEIN, 2014).

$$\theta = \theta_r + \frac{(\theta_s - \theta_r)}{[1 + (\alpha|\psi_m|)^n]^m}$$

Para obter-se o potencial mátrico a partir de uma umidade conhecida a determinação foi feita pela seguinte equação:

$$|\psi_m| = \frac{\left[\left(\frac{\theta_s - \theta_r}{\theta - \theta_r} \right)^{1/m} - 1 \right]^{1/n}}{\alpha}$$

3.10 IHO

Para a determinação do intervalo hídrico ótimo (IHO), foi considerada a umidade (θ) nos valores limitantes de macroporosidade de $0,10 \text{ m}^3/\text{m}^3$, potencial na capacidade de campo (CC) de $-0,006 \text{ MPa}$, potencial no ponto de murcha permanente (PMP) de $-1,5 \text{ MPa}$ e na RP de 3 MPa . A CC e o PMP serão determinados pela função de Ross et al. (1991), incorporando-se a DS ao modelo como proposto por Leao et al. (2005):

$$\theta = \exp(a + b \cdot DS) \cdot \Psi^c$$

em que θ é a umidade do solo (m^3/m^3), DS é densidade do solo (g/cm^3), Ψ é potencial ($-\text{MPa}$) e a, b e c são os parâmetros de ajuste do modelo. A resistência mecânica do solo à penetração (RP) foi determinada em penetrômetro de bancada computadorizado operando com velocidade de $0,17 \text{ mm}/\text{s}$, com cone de 4 mm de diâmetro na base e ângulo de 30° .

3.11 Aderência

Desenvolveu-se no Laboratório de Física e Água do Solo (LAFAS) um dispositivo, composto por um recipiente retangular com a capacidade de realizar uma volta completa de um dispositivo roda limitadora de profundidade de uma semeadora (Figura 1). Para avaliar em qual umidade inicia-se a aderência do solo, utilizou-se uma roda limitadora de profundidade de semeadora usada, com as dimensões de 124 cm de circunferência, $38,5 \text{ cm}$ de diâmetro e uma largura de cerca de $11,6 \text{ cm}$, com massa de $9,8 \text{ kg}$ e revestimento constituído por borracha.

O solo para determinação foi previamente preparado, umedecendo-se cerca de $2,5 \text{ kg}$ nas mesmas umidades determinadas para realização do ensaio de Proctor, deixado em repouso em recipiente fechado para equilíbrio da umidade.

Para realização do ensaio, o solo previamente preparado, foi acomodado no recipiente e sobre este solo, um dispositivo de semeadora (roda limitadora de profundidade) foi rodado sobre o mesmo, exercendo-se sobre este apenas a pressão do peso da roda, avaliando-se a ocorrência ou não de aderência do solo. No momento em

que houve aderência, amostras de solo foram retiradas e levadas a estufa a 105 °C para determinação da umidade.

Figura 1 - Dispositivo para ensaio de aderência do solo. Passo Fundo, 2019



3.12 Germinação

A germinação de sementes de soja foi avaliada para os cinco solos e em cinco profundidades, nas umidades de 0,125; 0,150; 0,175; 0,200; 0,225; 0,250; 0,275; 0,300; 0,325 e 0,350 g/g. Para tal, 100 g de solo seco foi acomodado em caixas do tipo gerbox, adicionando-se a massa de água necessária para criação do gradiente de umidade. Em cada caixa foram adicionadas 12 sementes de soja da cultivar FPS 1755, mantendo-se as caixas tampadas para que não perdessem água e sobre as mesmas condições de luminosidade e temperatura.

Foram avaliadas diariamente, durante 7 dias, o número de sementes germinadas, as quais foram assim consideradas quando da emissão da radícula. Assim, pode-se avaliar a umidade mais adequada para que ocorresse a germinação, considerando-se como ideal as umidades que apresentassem acima de 75% de germinação (WUEST; LUTCHER,

2012). Avaliou-se ainda o índice de velocidade de germinação (IVG), que foi calculado de acordo com MAGUIRE (1962):

$$IVG = N1/D1 + N2/D2 + \dots + Nn/Dn$$

Onde: IVG = índice de velocidade de germinação; N = números de sementes germinadas no dia da contagem; D = números de dias após a semeadura.

3.13 Análise estatística

Realizou-se ajustes dos resultados por meio de regressões lineares múltiplas e análise de significância pelo teste F e teste de comparação de médias pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Propriedades físico-hídricas de solos sob plantio direto

4.1.1 Composição granulométrica

Os solos coletados apresentaram distintas composições granulométricas e teores de MO (Tabela 2). Os teores de argila apresentaram amplitude de 267 a 817 g/kg, percebendo-se um acréscimo em profundidade para todos os solos.

Os solos H, LB e PF apresentaram um domínio da fração argila em sua composição, enquanto no solo FPS o predomínio foi da composição areia. Já no solo AA, enquanto em superfície a composição textural é maior em areia, a partir da camada de 15 a 20 cm de profundidade observa-se um acréscimo maior de argila em relação aos demais solos, tornando-se esta a maior fração na sua composição. Pode-se observar ainda que esse solo apresentou uma mudança de classe textural da primeira camada para as demais, passando de franco-argilo-arenoso para a fração argila.

Todos os solos apresentaram um baixo teor de silte em relação a argila em suas composições. Isto pode indicar que estes solos passaram um elevado grau de intemperismo em sua formação (EMBRAPA, 2018), sendo uma característica comumente associada a Latossolos (KER, 1997).

Quanto ao teor de MO, os valores encontrados demonstraram a amplitude de 12 a 47 g/kg. De acordo com o Manual de Calagem e Adubação (SBCS, 2016) valores abaixo de 25 g/kg são considerados como de classe baixa de MO, enquanto de 25 a 50 g/kg são médios e apenas acima de 50 g/kg pode ser classificado como de alto teor de MO. Tal amplitude entre os teores de MO se deve ao fato de as amostras provirem de diferentes locais, todos sob SPD, porém manejos diferentes, com altitudes, clima e teores de argila diferentes. O SPD tende a proporcionar a elevação da MO se comparado a outras formas

de manejo, principalmente as que envolvem preparo intensivo do solo. Os valores de MO decresceram com o incremento de profundidade, pois é na camada superficial que ocorre a deposição dos resíduos culturais. Convém observar ainda que esta faixa de solo mais comumente exposta a ação antrópica e ambiental, fazendo-se necessário um maior cuidado com os sistemas de manejo adotados, visto que a MO é um indicador de qualidade do solo (CONCEIÇÃO et al., 2005).

Tabela 2. Composição granulométrica, matéria orgânica (MO) e classe textural de cinco solos coletados em cinco profundidades sob plantio direto no RS. Passo Fundo, 2019

Solo	Prof.	Argila	Silte	Areia	MO	Classe textural
	cm	g/kg				
H	0-5	610,18	310,18	78,24	38,00	Muito argiloso
H	5-10	671,21	271,28	55,31	22,00	Muito argiloso
H	10-15	697,50	253,84	47,02	20,00	Muito argiloso
H	15-20	750,63	207,30	39,34	14,00	Muito argiloso
H	20-25	817,17	152,44	27,60	11,00	Muito argiloso
LB	0-5	530,61	270,45	194,93	41,00	Argila
LB	5-10	559,00	265,40	172,06	21,00	Argila
LB	10-15	585,35	252,20	160,10	20,00	Argila
LB	15-20	600,70	243,49	152,25	18,00	Argila
LB	20-25	582,12	263,34	150,29	16,00	Argila
PF	0-5	458,18	187,83	353,89	47,00	Argila
PF	5-10	479,29	177,91	342,21	31,00	Argila
PF	10-15	507,20	168,69	323,82	29,00	Argila
PF	15-20	513,77	175,82	310,02	27,00	Argila
PF	20-25	515,43	172,06	312,15	28,00	Argila
AA	0-5	329,16	162,15	507,88	46,00	Franco argilo arenoso
AA	5-10	411,47	126,79	460,34	23,00	Argila
AA	10-15	434,57	124,44	440,29	31,00	Argila
AA	15-20	451,33	121,89	425,61	15,00	Argila
AA	20-25	517,22	112,89	368,80	12,00	Argila
FPS	0-5	267,33	117,10	615,15	29,00	Franco argilo arenoso
FPS	5-10	290,76	111,38	597,61	25,00	Franco argilo arenoso
FPS	10-15	317,60	105,07	576,89	21,00	Franco argilo arenoso
FPS	15-20	333,49	105,42	560,54	14,00	Franco argilo arenoso
FPS	20-25	350,03	106,03	543,51	17,00	Franco argilo arenoso

4.1.2 Densidade dos sólidos do solo, porosidade total e classes de poros

Os valores de DSS (Tabela 3) nos solos estudados variou entre 2,61 e 2,80 g/cm³. A DSS elevada de alguns destes pode ser explicada pelo material de origem e baixo aporte de MO nestes, o que ocorre devido à baixa densidade desta, visto que sua densidade específica é de 0,9 a 1,3 g/cm³ (REINERT; REICHERT, 2006).

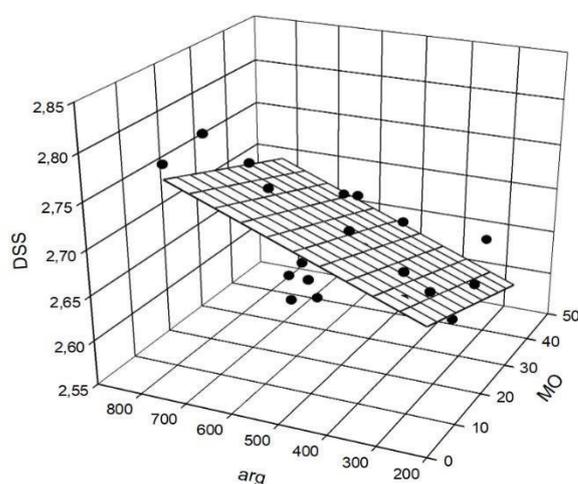
Tabela 3. Densidade dos sólidos do solo (DSS), porosidade total (PT), macro, micro e criptoporos de cinco solos coletados em cinco profundidades sob plantio direto no RS. Passo Fundo, 2019

Solo	Prof. (cm)	DSS	PT	Macro	Micro	Cripto
		g/cm ³				
H	0-5	2,69	0,45	0,047	0,100	0,302
H	5-10	2,73	0,42	0,005	0,091	0,319
H	10-15	2,76	0,46	0,029	0,124	0,308
H	15-20	2,80	0,49	0,045	0,127	0,317
H	20-25	2,77	0,52	0,066	0,126	0,330
LB	0-5	2,61	0,51	0,150	0,127	0,231
LB	5-10	2,62	0,40	0,011	0,131	0,254
LB	10-15	2,66	0,42	0,048	0,112	0,258
LB	15-20	2,65	0,45	0,066	0,131	0,248
LB	20-25	2,63	0,49	0,108	0,147	0,231
PF	0-5	2,61	0,54	0,152	0,138	0,250
PF	5-10	2,61	0,51	0,116	0,145	0,244
PF	10-15	2,66	0,54	0,138	0,146	0,253
PF	15-20	2,64	0,51	0,115	0,120	0,275
PF	20-25	2,72	0,56	0,148	0,155	0,253
AA	0-5	2,64	0,45	0,060	0,125	0,262
AA	5-10	2,64	0,37	0,034	0,096	0,244
AA	10-15	2,69	0,39	0,036	0,141	0,217
AA	15-20	2,72	0,44	0,074	0,143	0,228
AA	20-25	2,67	0,45	0,041	0,158	0,254
FPS	0-5	2,64	0,44	0,083	0,120	0,239
FPS	5-10	2,61	0,41	0,076	0,114	0,220
FPS	10-15	2,65	0,40	0,065	0,137	0,202
FPS	15-20	2,69	0,45	0,098	0,143	0,208
FPS	20-25	2,65	0,47	0,114	0,163	0,194

Média de três repetições

A DSS foi influenciada pelos teores de argila e MO (Figura 2). Enquanto os acréscimos de MO propiciaram menores valores de DSS, maiores teores de argila inferiram em maiores valores de DSS. Solos com alto teor de MO têm DSS menor que 2,65 Mg/m³ (FAGUERIA; STONE, 2006), valor considerado a média de densidade dos principais minerais constituintes do solo (KIEHL, 1979). Brown et al. (2018), em estudo comparativo entre plantio direto e convencional, encontrou menores valores de DSS no plantio direto, ocasionado pelo maior teor de matéria orgânica acumulado nesse sistema.

Figura 2 - Densidade de sólidos do solo (DSS) em função do teor de argila (ARG) e matéria orgânica (MO). Passo Fundo, 2019



$$DSS = 2,613 - (0,00164 * MO) + (0,000194 * \text{argila}); R = 0,687 P < 0,001$$

Quanto à PT, os valores obtidos ficaram entre 0,37 e 0,56 m³/m³. A PT é considerada ideal para cultivos agrícolas quando apresentar valor igual ou maior que 0,5 m³/m³ (GIOIA, 2011). Assim sendo, apenas o solo PF apresentou em todas as camadas avaliadas valores considerados iguais ou acima do esperado como sendo ideal, enquanto nos demais solos esses valores se mostraram abaixo do ideal. Os reduzidos valores de PT podem ser consequência da compactação, advinda de alguma prática inadequada adotada no SPD, o qual tem como consequência redução da PT e de aeração (VIEIRA, 2006).

As classes de poros foram divididas em macroporos, microporos e criptoporos (Tabela 3). Os valores de macroporos dos solos analisados situaram-se entre 0,005 e 0,150 m³/m³. Valores de macroporosidade entre 0,17 e 0,25 m³/m³ são considerados como ideais (PARENTE; MAIA, 2011). Assim sendo, apenas o solo PF demonstrou uma quantidade de macroporos mais próxima da ideal em todas as camadas analisadas.

A amplitude de valores obtidos em relação a microporosidade dos solos estudados foi de 0,091 a 0,163 m³/m³. Os microporos são considerados como poros de grande importância agrícola, por serem responsáveis por reter a água disponível as culturas (KLEIN, 2014). Para criptoporos, a amplitude de valores obtidos ficou entre 0,194 e 0,319 m³/m³. Estes são poros com diâmetro menor que 0,0002 mm, que perdem a água apenas para tensões maiores que 1500 kPa, nos quais a água pode permanecer retida com energia muito alta, sendo, portanto, indisponível às plantas (KLEIN, 1998).

4.1.3 Densidade do solo, densidade do solo máxima e densidade Relativa

Os valores de DS, Dsmáx e DR são apresentados na Tabela 4. Quanto a DS, ocorreu diferença estatisticamente significativa para solo ($P = <0,001$), porém não houve diferença para as profundidades. Os valores obtidos de DS variaram entre 1,167 a 1,660 g/cm³. Os valores encontrados são intermediários, uma vez que comparando com os valores clássicos de DS para solos arenosos, estes se situam entre 1,2 e 1,8 g/cm³ e, para argilosos, de 1,0 a 1,6 g/cm³ (STURMER, 2008).

Algumas densidades do solo consideradas críticas para algumas classes texturais foram estabelecidas como 1,30 a 1,40 g/cm³ para solos argilosos, 1,40 a 1,50 g/cm³ para os franco-argilosos e de 1,70 a 1,80 g/cm³ para os franco-arenosos (REICHERT et al. 2003). Argenton et al. (2005) constataram que, em Latossolo Vermelho argiloso, os quais possuem entre 350 e 600 g/kg de argila, a deficiência de aeração inicia-se com DS próxima de 1,30 g/cm³, e Klein (2006), para mesma classe de solo, observou que a densidade limitante foi de 1,33 g/cm³. Reinert et al. (2001) estabeleceram valores críticos de DS como sendo de 1,45 g/cm³ para solos com horizonte de textura argilosa, 1,55 g/cm³ para solos com horizonte de textura média e de 1,65 g/cm³ para solos com textura arenosa.

Tabela 4. Densidade do solo (DS), densidade máxima do solo (Dsmáx), densidade relativa (DR) e umidade ótima de compactação (UOC) de cinco solos coletados em cinco profundidades sob plantio direto. Passo Fundo, 2019

Solo	Prof. (cm)	DS*	Dsmáx	DR
		g/cm ³		
H	0-5	1,471	1,506	0,977
H	5-10	1,547	1,494	1,036
H	10-15	1,476	1,476	1,000
H	15-20	1,414	1,476	0,958
H	20-25	1,315	1,391	0,945
LB	0-5	1,358	1,480	0,918
LB	5-10	1,525	1,514	1,007
LB	10-15	1,537	1,537	1,000
LB	15-20	1,480	1,543	0,959
LB	20-25	1,355	1,522	0,890
PF	0-5	1,167	1,412	0,827
PF	5-10	1,273	1,480	0,860
PF	10-15	1,286	1,542	0,834
PF	15-20	1,268	1,461	0,868
PF	20-25	1,198	1,498	0,800
AA	0-5	1,492	1,548	0,964
AA	5-10	1,660	1,650	1,006
AA	10-15	1,635	1,659	0,985
AA	15-20	1,552	1,629	0,953
AA	20-25	1,457	1,545	0,943
FPS	0-5	1,479	1,572	0,941
FPS	5-10	1,575	1,661	0,948
FPS	10-15	1,576	1,681	0,938
FPS	15-20	1,466	1,650	0,888
FPS	20-25	1,406	1,597	0,880

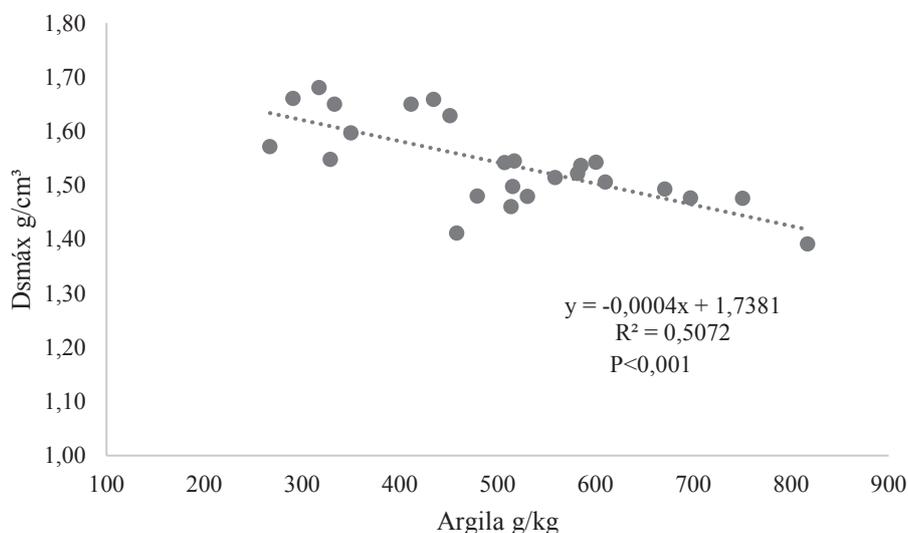
*média de 6 repetições

Crescentes valores de DS em SPD têm sido associados a um intenso tráfego de máquinas e até animais em condições de umidade do solo por vezes inadequadas, que aliado a ausência de revolvimento, tendem a ocasionar maior compactação (ASSIS; LANÇAS, 2005). A DS é dependente de teores de MO, textura e ainda de características mineralógicas do solo, fato que dificulta a sua utilização de forma isolada para quantificar o grau de compactação do solo (BRADY; WEIL, 2008). Assim, faz-se necessário utilizar outros parâmetros mais adequados que diminuam as diferenças e permitam comparar DS

entre solos (SÁ; SANTOS, 2005). A DS é relacionada à granulometria do solo (REICHERT et al., 2009) e a matéria orgânica (BRAIDA et al., 2010).

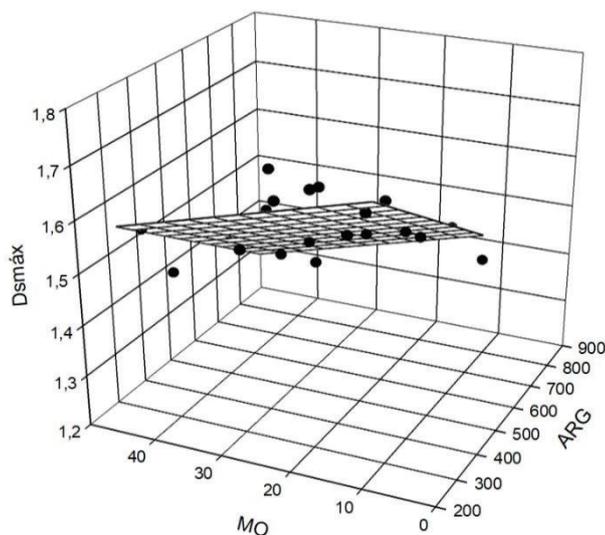
Quanto a D_{smax} , a elevação dos teores de argila causou redução nos valores da mesma (Figura 3). Broch e Klein (2017), estudando Neossolos, encontraram maior efeito da fração silte sobre a D_{smax} destes solos. Já Marcolin e Klein (2011) trabalhando com Latossolos, observaram que a elevação dos teores de argila e de matéria orgânica reduziram a D_{smax} e aumentaram a umidade ótima de compactação, fato atribuído a argila e a MO reterem mais água do que as frações silte e areia (SILVA et al., 1986). No presente trabalho, o efeito da MO e da argila na D_{smax} foram significantes (Figura 4), sendo que a equação que melhor explicou esse fenômeno foi $D_{smax} = 1,862 - (0,000466 * \text{argila}) - (0,00351 * \text{MO})$ $P < 0,001$. Marcolin e Klein (2011), estudando a relação destes fatores com a D_{smax} encontraram valores semelhantes, obtendo a seguinte equação: $D_{smax} = 2,03133855 - 0,00320878 \text{ MO} - 0,00076508 \text{ argila}$.

Figura 3 - Densidade do solo máxima em função do teor de argila. Passo Fundo, 2019



$$D_{smax} = 1,862 - (0,000466 * \text{ARG}) - (0,00351 * \text{MO}) \quad P < 0,001$$

Figura 4 - Densidade do solo máxima (Dsmáx) em função do teor de matéria orgânica (MO) e argila (ARG). Passo Fundo, 2019



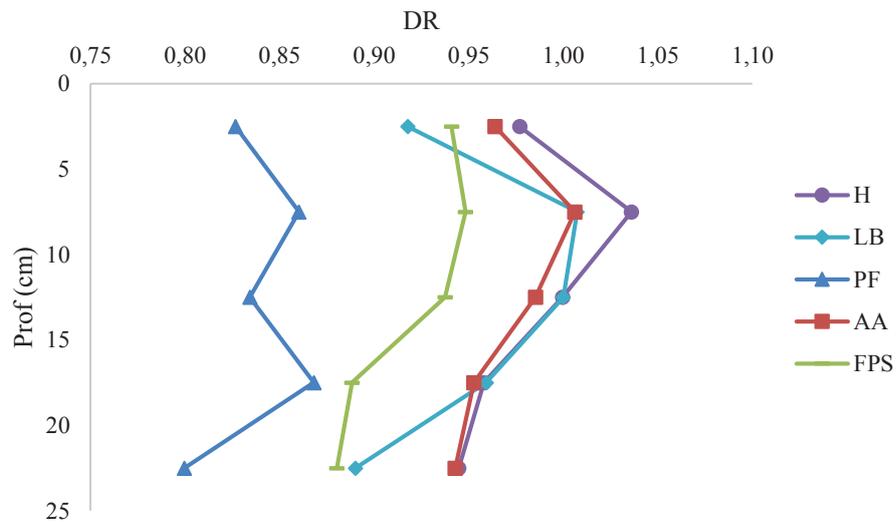
A DR dos solos (Tabela 4) demonstra o estado de compactação dos diferentes solos nas distintas profundidades. Na Figura 5 estão demonstradas as DR dos solos nas profundidades amostradas. Observa-se que na maioria dos solos e profundidades os valores de DR encontrados foram altos, alguns superiores a 1,0, indicando uma DS maior do que sua Dsmáx. Valores de DR entre 0,90 a 0,95 são considerados como solos compactados, enquanto valores acima de 0,95 são encontrados em solos classificados como muito compactados (MARCOLIN, 2009). Beutler et al. (2008) estudando um Latossolo Vermelho sob cultivo de milho e soja, observou que valores de DR acima de 0,81 limitam o desenvolvimento das culturas. Klein (2006) encontrou valores acima de 0,88 como limitantes para o desenvolvimento das plantas. Para Bonini et al. (2011), a DR que proporcionou maior rendimento de grãos de trigo foi de 0,83, já para a cultura da soja, Suzuki et al. (2007) encontraram valores de DR de 0,86, ambos para Latossolos.

Não houve relação significativa entre a DR com os teores de MO ou com as frações granulométricas do solo, já que esta é um índice, não sendo afetado por estes fatores. Isso reforça seu potencial de uso como indicador de qualidade estrutural do solo, independentemente da classe textural (HÅKANSSON; LIPIEC, 2000), ao contrário da

avaliação somente da DS, que é intimamente relacionada à granulometria do solo (REICHERT et al., 2009) e o teor de MO (BRAIDA et al., 2010). A densidade relativa constitui um viável indicador de qualidade física do solo, em função de sua fácil determinação e pouca variação dos valores limitantes em relação aos tipos de solos (BEUTLER et al., 2008).

A compactação é responsável ainda por alterações na dinâmica da água no solo. Diminui a movimentação da água pelo solo, pois cria uma camada muito densa de solo onde a água não se infiltra. A armazenagem de água também é deficiente, causando problemas às culturas em épocas de estiagens. Pode potencializar o escoamento superficial e reduzir a disponibilidade de água às plantas, comprometendo a produção das culturas (SILVA et al., 2006).

Figura 5 - Densidade relativa de cinco solos sob plantio direto em profundidade. Passo Fundo, 2019

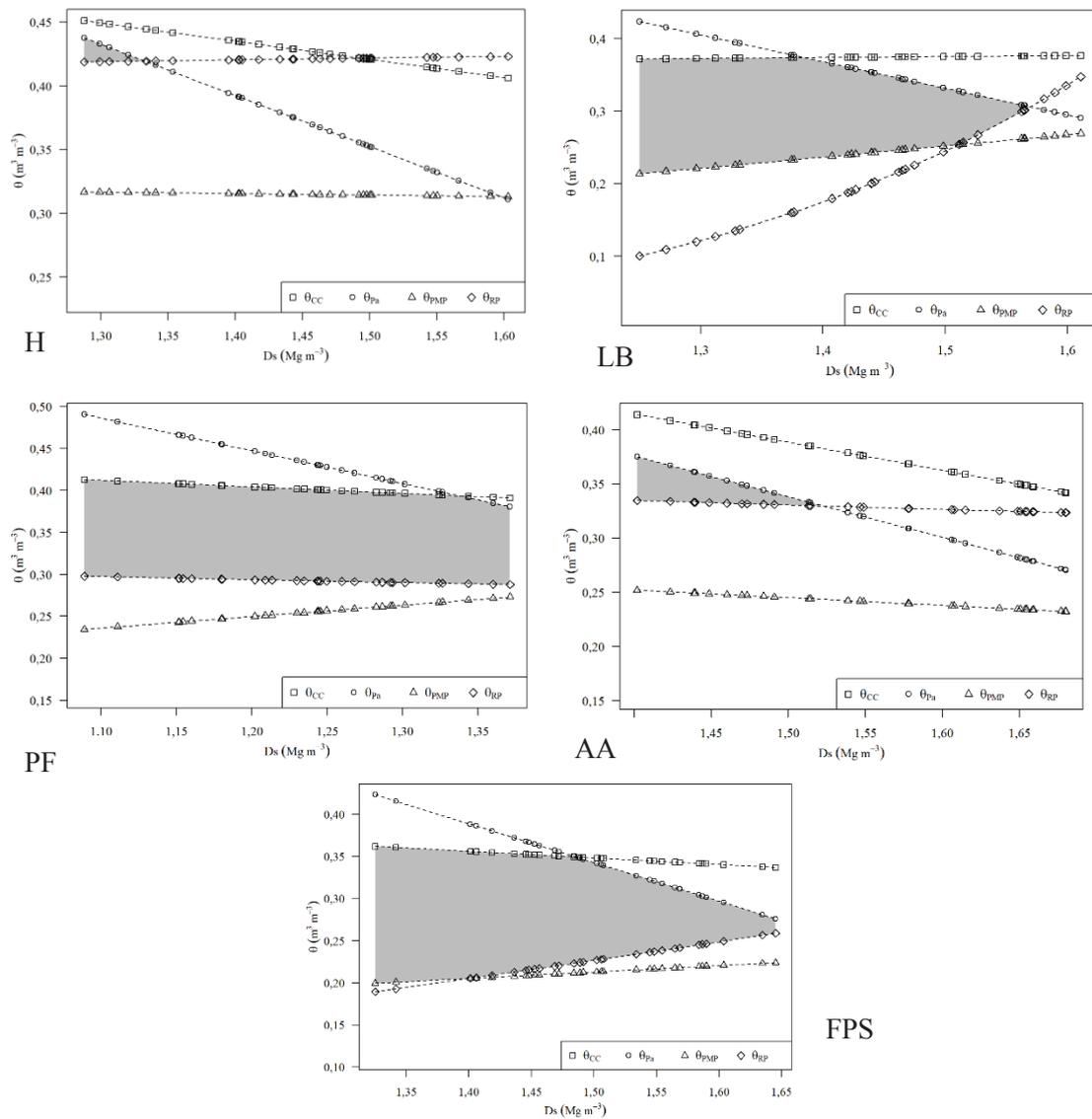


4.2 Água no solo

4.2.1 Intervalo Hídrico Ótimo

Os gráficos referentes ao IHO dos solos analisados estão apresentados na Figura 6, que está indicado pela área hachurada.

Figura 6 - Intervalo hídrico ótimo de cinco solos sob plantio direto. Passo Fundo, 2019



Nos solos AA e especialmente no solo H, observam-se valores bastante reduzidos de IHO, uma vez que seus elevados valores de RP proporcionaram um limite inferior do IHO diminuto.

Com os gráficos, obtém-se o valor da densidade do solo em que o IHO é máximo, além do valor de densidade em que o IHO é igual a zero (KLEIN, 2014). Para o solo PF, observa-se que a RP e PA não foram limitantes. No solo LB, o IHO foi afetado no seu limite inferior pela RP a partir da densidade 1,4 g/cm³. No solo FPS, o IHO foi delimitado por seu limite inferior como a RP e superior na PA, a partir de uma DS de 1,6 g/cm³. Leão et al. (2004), utilizou o IHO para avaliar um Latossolo Vermelho distrófico sob pastagem e verificaram como limite superior do IHO a CC e o limite inferior a RP com valores de densidade de solo variando entre 1,16 até 1,43 g/cm³.

Uma vantagem apontada na utilização do IHO na avaliação da qualidade física de um solo é que ele integra os efeitos do potencial mátrico, da porosidade de aeração e da resistência à penetração no crescimento das plantas (FONTANELA, 2008). O IHO é adotado especialmente como um atributo do solo capaz de demonstrar melhor os efeitos da compactação do solo, sendo sugerido por alguns estudos como indicador de qualidade física do solo (FIDALSKI et al., 2010; SOUZA et al., 2015). Assim sendo, o IHO seria capaz de determinar o risco de exposição das culturas ao estresse físico do solo (CAVALIERI et al., 2011).

4.2.2 Curva de retenção de água no solo (CRA)

As curvas de retenção de água obtidas para os solos estudados nas distintas profundidades são apresentadas nas Figuras 7, 8, 9, 10 e 11. Na Tabela 5 são apresentados os parâmetros da equação de Van Genuchten obtidos para estes solos. Observando-se as curvas dos solos avaliados, percebe-se que os solos com mais areia em sua composição tenderam a reter menos água. Por sua vez, os mais argilosos demonstraram uma maior retenção, dessaturando de maneira mais lenta, obtendo-se CRA com uma menor inclinação na curva, enquanto o mais arenoso proporcionou uma curva de formato mais íngreme. A camada mais superficial tende a demonstrar uma umidade mais elevada nos

potenciais mais baixos, a exceção do solo H. Valores elevados de teor de água nas tensões iniciais se devem ao fato de o ensaio ter sido realizado com solo indeformado, reacomodado em cilindros, o que proporcionou por sua vez elevados valores de porosidade total.

A partir de uma curva característica de retenção de água no solo e de determinações do teor de água no momento desejado, é possível obter o potencial mátrico da água no solo naquela condição (KLEIN, 2014). Reflete a ação dos atributos do solo que influenciam na retenção da água (TORMENA et al., 1998). A textura e matéria orgânica interferem diretamente na capacidade de retenção da água pelo solo (CENTURION; ANDRIOLI, 2000), sendo assim os principais fatores que interferem na retenção (SOLANO, 2003). Analisando a modelagem da CRA de Latossolos no Cerrado, Carducci et al. (2011) observaram que o teor de argila nesses solos influencia a retenção de água, elevando a capilaridade e adsorção de água.

Figura 7 - Curvas de retenção de água no solo H, em distintas profundidades. Passo Fundo, 2019

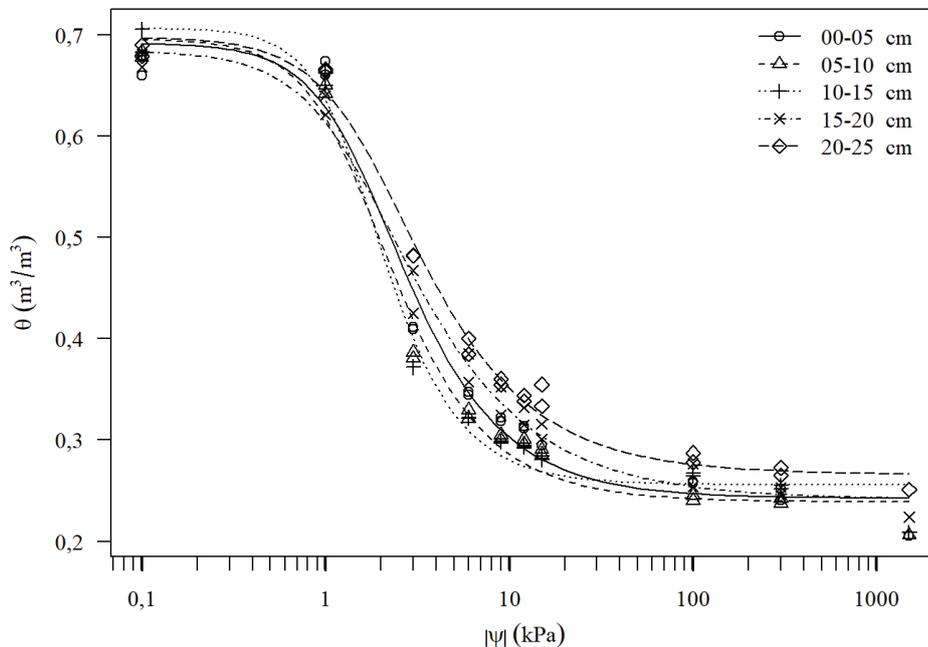


Figura 8 - Curvas de retenção de água no solo LB, em distintas profundidades. Passo Fundo, 2019

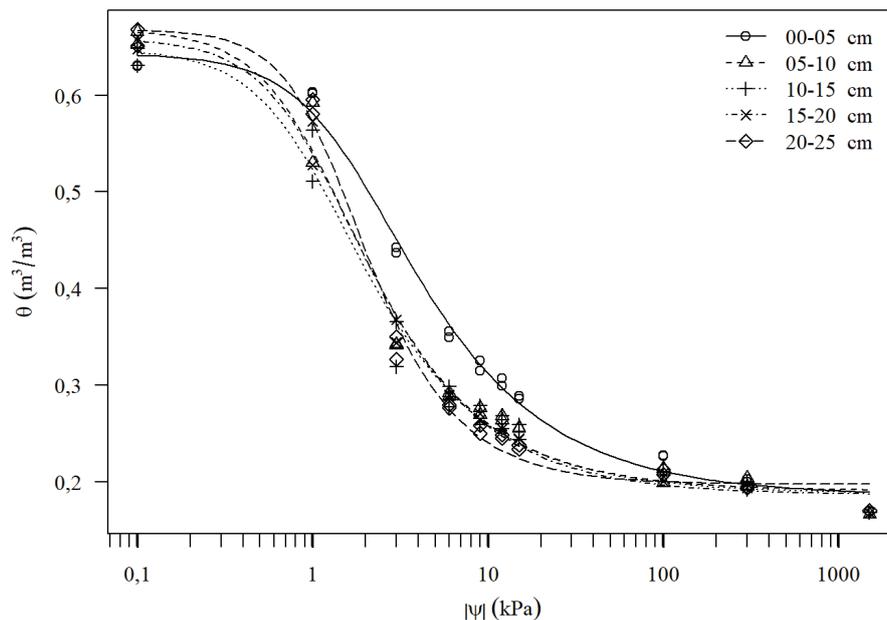


Figura 9 - Curvas de retenção de água no solo PF, em distintas profundidades. Passo Fundo, 2019

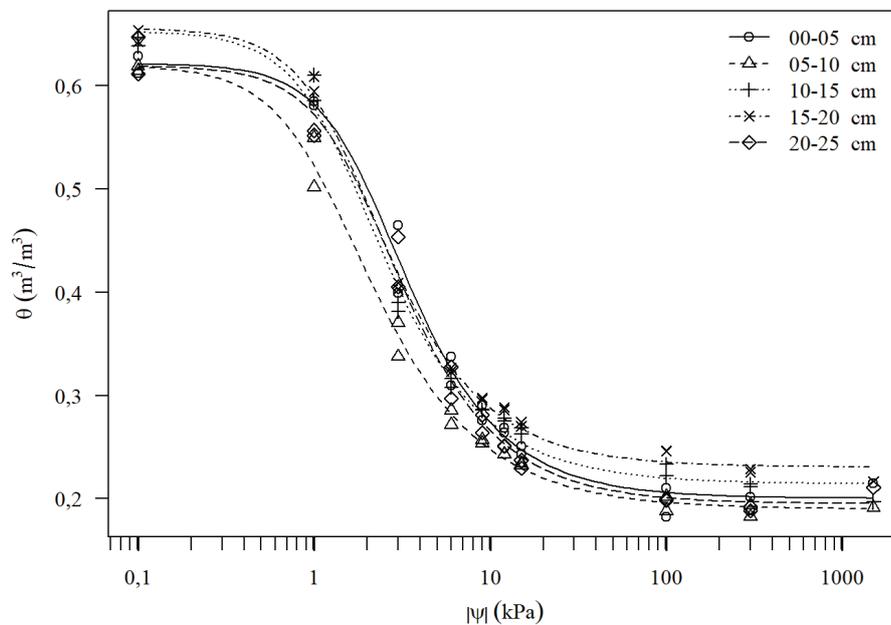


Figura 10 - Curvas de retenção de água no solo AA, em distintas profundidades. Passo Fundo, 2019

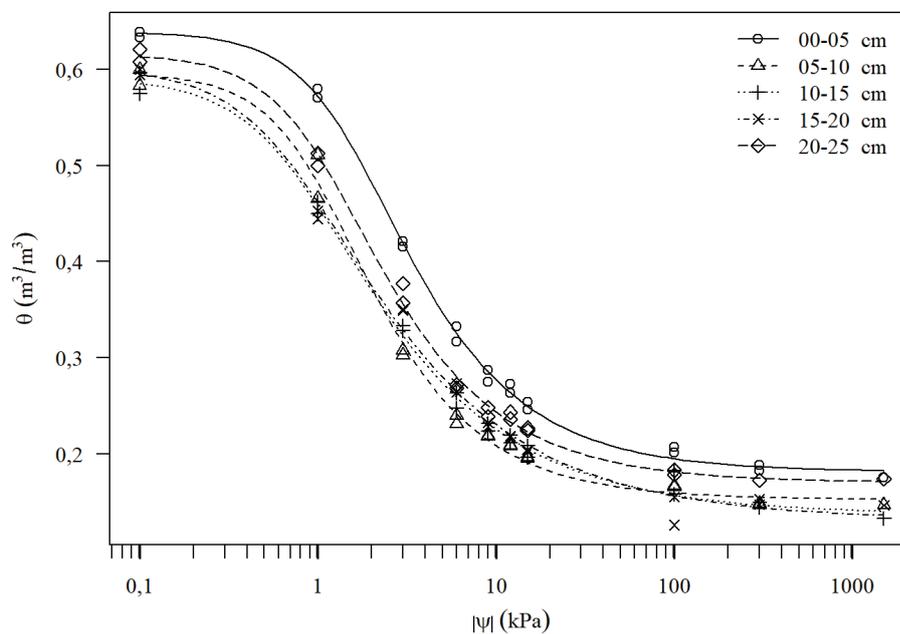


Figura 11 - Curvas de retenção de água no solo FPS, em distintas profundidades. Passo Fundo, 2019

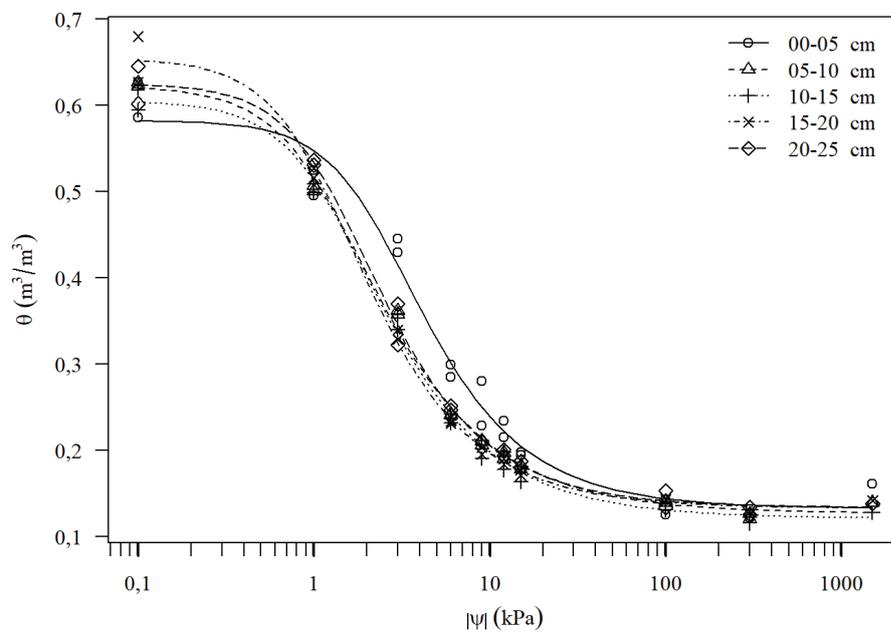


Tabela 5. Parâmetros da equação de van Genuchten de solos sob plantio direto. Passo Fundo, 2019

Solo	Prof. (cm)	θS	θR	α	N
H	0-5	0,6919	0,2424	0,5957	2,1176
H	5-10	0,6959	0,2388	0,6682	2,1869
H	10-15	0,7066	0,2559	0,6449	2,5622
H	15-20	0,6843	0,2415	0,6575	1,8541
H	20-25	0,6977	0,2657	0,5534	1,9379
LB	0-5	0,6427	0,1858	0,5999	1,7069
LB	5-10	0,6682	0,1908	0,9765	1,8437
LB	10-15	0,6473	0,1881	1,0231	1,7994
LB	15-20	0,6585	0,1865	0,9404	1,8416
LB	20-25	0,6679	0,1975	0,7464	2,1849
PF	0-5	0,6212	0,2003	0,4722	2,1117
PF	5-10	0,6197	0,1899	0,8302	1,9439
PF	10-15	0,6528	0,2144	0,6645	2,0401
PF	15-20	0,6556	0,2307	0,6342	2,0817
PF	20-25	0,6191	0,1951	0,5194	2,0769
AA	0-5	0,6388	0,1813	0,6182	1,8497
AA	5-10	0,5958	0,1525	0,9222	1,9264
AA	10-15	0,5906	0,1369	1,2331	1,6469
AA	15-20	0,6010	0,1313	1,3155	1,6009
AA	20-25	0,6154	0,1701	0,8918	1,8179
FPS	0-5	0,5818	0,1329	0,4156	1,9890
FPS	5-10	0,6214	0,1272	0,8085	1,8666
FPS	10-15	0,6048	0,1214	0,7372	1,9122
FPS	15-20	0,6534	0,1331	0,8757	1,9634
FPS	20-25	0,6247	0,1339	0,7179	1,9684

O formato da CRA é influenciado pelo diâmetro e distribuição de poros (DEXTER; RICHARD, 2009). Reichardt (1987) e Dematê (1988) afirmaram que, em solos de textura mais fina, a distribuição dos poros por tamanho é maior e mais uniforme, proporcionando a adsorção de maior conteúdo de água e decréscimo mais gradual da umidade do solo com o aumento da tensão.

Enquanto em elevados potenciais, a CRA é influenciada por poros estruturais associados ao efeito da matéria orgânica na formação e na estabilidade da estrutura do

solo (RAWLS et al., 1991), em baixo potencial, a composição granulométrica e a mineralogia do solo se tornam mais importantes devido à superfície disponível para a adsorção de água (GUPTA; LARSON, 1979).

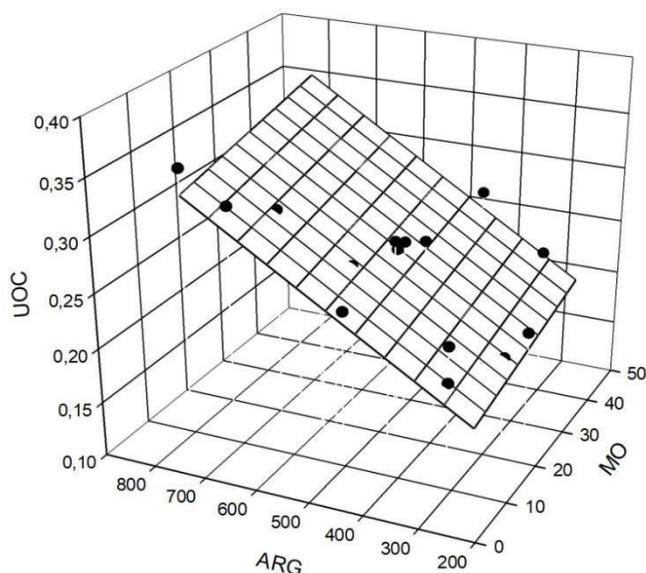
4.2.3 Umidade ótima de Compactação

Os valores de UOC estão apresentados na Tabela 6 e situaram-se entre 0,178 e 0,340 g/g.

Tabela 6. Umidade ótima de compactação (UOC) de cinco solos coletados em cinco profundidades sob plantio direto. Passo Fundo, 2019

Solo	Prof. (cm)	UOC g/g
H	0-5	0,278
H	5-10	0,280
H	10-15	0,292
H	15-20	0,305
H	20-25	0,340
LB	0-5	0,242
LB	5-10	0,250
LB	10-15	0,247
LB	15-20	0,243
LB	20-25	0,244
PF	0-5	0,264
PF	5-10	0,254
PF	10-15	0,256
PF	15-20	0,261
PF	20-25	0,251
AA	0-5	0,218
AA	5-10	0,190
AA	10-15	0,196
AA	15-20	0,201
AA	20-25	0,236
FPS	0-5	0,192
FPS	5-10	0,178
FPS	10-15	0,178
FPS	15-20	0,183
FPS	20-25	0,206

Figura 12 - Relação entre o teor de argila (ARG) e matéria orgânica (MO) a umidade ótima de compactação (UOC). Passo Fundo, 2019

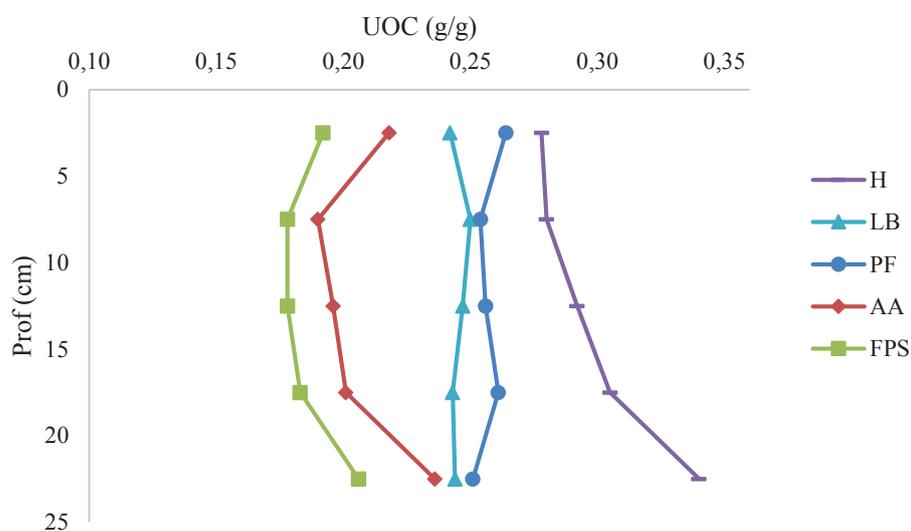


$$UOC = 0,0703 + (0,000991 * MO) + (0,000288 * ARG) \quad P < 0,001$$

A UOC foi influenciada pelos teores de argila e MO do solo (Figura 12). Dias Junior e Miranda (2000) observaram que os valores das umidades ótimas de compactação tendem a aumentar com o teor de argila e MO dos solos, o que está relacionado com a maior capacidade de adsorção de água destas frações (EKWUE; STONE, 1997). A UOC é aquela na qual mais facilmente ocorrem alterações na estrutura de um solo quando manejado, ou seja, na qual o solo está mais propenso à compactação se manejado (KLEIN, 2014).

O efeito da profundidade do solo na UOC (Figura 13), demonstra uma tendência de maior UOC em superfície, decrescendo nas camadas intermediárias e voltando a aumentar nas camadas mais profundas, a exceção dos solos LB e PF, onde não se observou esta tendência de acréscimo na UOC em subsuperfície. Tal fato implica em um maior risco de compactação do solo nas camadas intermediárias ainda com umidades de trabalho mais baixas, quando em comparação as camadas superiores e inferiores.

Figura 13 - Umidade ótima de compactação (UOC) de diferentes solos em profundidade. Passo Fundo, 2019



4.2.4 Consistência do solo

Os valores de limite líquido (LL) dos solos avaliados variaram entre 0,239 e 0,411 g/g, enquanto para o limite plástico (LP) ficaram entre 0,168 e 0,322 g/g (Tabela 7). O fator que mais influenciou o limite líquido foi o teor de argila dos solos (Figura 14), sendo que esta proporcionou aumento do LL com seus acréscimos, seguido pelo teor de MO (Figura 16). O limite plástico também foi influenciado pelo teor de argila (Figura 11) e de MO (Figura 15), com o aumento da argila ocorreu acréscimo do LP, assim como ocorreu com o índice de plasticidade (Figura 19).

Assim como encontrado por Braida (2004), Vasconcelos et al. (2010) e Luciano et al. (2012), o teor de MO dos solos exerceu influência significativa nos valores de LL e LP. Segundo Brady e Weil (2008) com o aumento do teor de argila, ocorre um pequeno aumento do limite de plasticidade e um aumento proporcionalmente maior do limite líquido. Consequentemente, há um aumento do índice de plasticidade com teores crescentes de argila.

De acordo com Renedo (1996), à medida que aumenta o conteúdo de argila do solo, aumentam também os valores de índice de plasticidade. Isto se deve ao fato de quanto maior a relação da superfície total das partículas de argila em relação ao seu volume, maior o número de moléculas de água que esta é capaz de absorver, gerando valores mais elevados dos limites plástico e líquido.

Tabela 7. Limite plástico (LP), limite líquido (LL), índice de plasticidade (IP) e relação UOC/LP de cinco solos coletados em cinco profundidades sob plantio direto. Passo Fundo, 2019

Solo	Prof.	LP	LL	IP	UOC/LP
		Ug (g/g)			
H	0-5	0,290	0,411	12,052	0,957
H	5-10	0,270	0,415	14,529	1,037
H	10-15	0,267	0,402	13,513	1,093
H	15-20	0,264	0,395	13,040	1,155
H	20-25	0,322	0,441	11,974	1,057
LB	0-5	0,244	0,373	12,906	0,993
LB	5-10	0,255	0,369	11,449	0,982
LB	10-15	0,240	0,345	10,497	1,030
LB	15-20	0,245	0,350	10,434	0,991
LB	20-25	0,241	0,337	9,548	1,011
PF	0-5	0,281	0,392	11,118	0,939
PF	5-10	0,245	0,348	10,275	1,037
PF	10-15	0,244	0,351	10,654	1,048
PF	15-20	0,238	0,345	10,641	1,096
PF	20-25	0,229	0,337	10,767	1,097
AA	0-5	0,229	0,330	10,039	0,950
AA	5-10	0,187	0,291	10,371	1,014
AA	10-15	0,184	0,284	9,953	1,063
AA	15-20	0,191	0,286	9,480	1,053
AA	20-25	0,202	0,327	12,513	1,168
FPS	0-5	0,202	0,277	7,574	0,952
FPS	5-10	0,180	0,259	7,933	0,991
FPS	10-15	0,168	0,239	7,046	1,059
FPS	15-20	0,173	0,247	7,374	1,056
FPS	20-25	0,175	0,259	8,401	1,180

Figura 14 - Relação entre o teor de argila e os limites plástico e líquido do solo. Passo Fundo, 2019

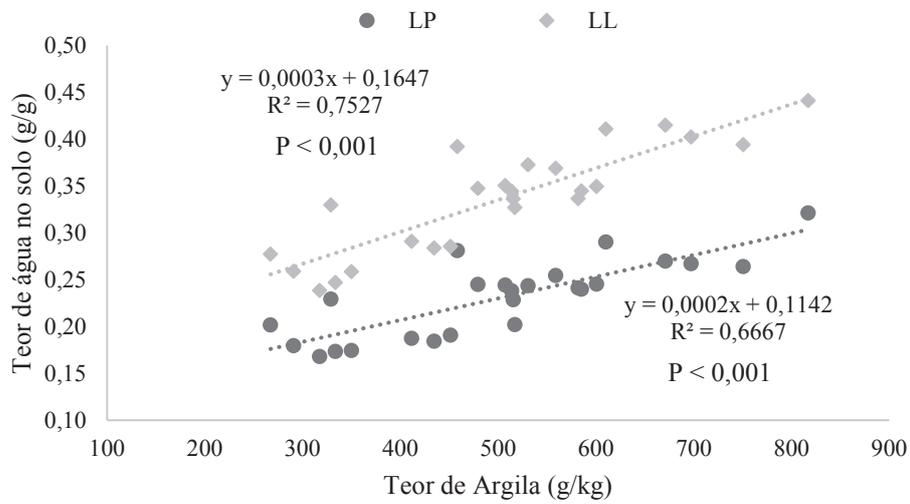
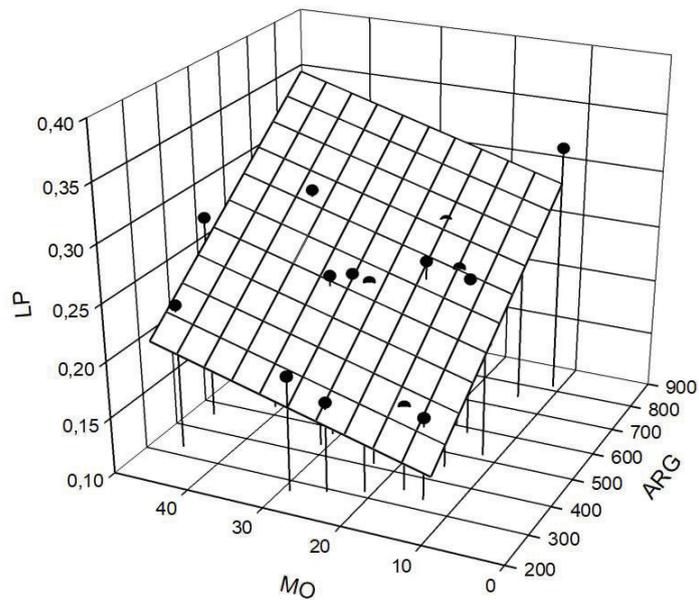
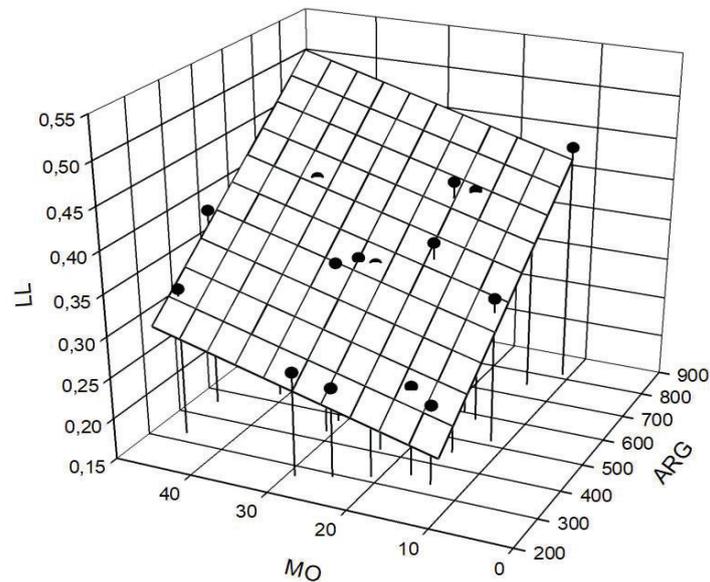


Figura 15 - Relação entre o teor de argila (ARG) e matéria orgânica (MO) com limite plástico do solo (LP). Passo Fundo, 2019



$$LP = 0,0490 + (0,000270 * ARG) + (0,00185 * MO) \quad R = 0,926 \quad P < 0,001$$

Figura 16 - Relação entre o teor de argila (ARG) e matéria orgânica (MO) com Limite Líquido do solo (LL). Passo Fundo, 2019



$$LL = 0,0771 + (0,000393 * ARG) + (0,00249 * MO) \quad R = 0,967 \quad P < 0,001$$

O efeito do limite plástico (Figura 17) em profundidade demonstram haver um incremento de umidade na camada mais superior, decrescendo em profundidade, a excessão do solo LB, onde se observa um incremento da umidade no LP na segunda camada amostrada. Já para o limite líquido (Figura 18), o efeito observado foi semelhante ao ocorrido com o LP, acentuando-se também os valores crescentes de umidade nas camadas de maior profundidade.

Figura 17 - Limite Plástico do solo em profundidade. Passo Fundo, 2019

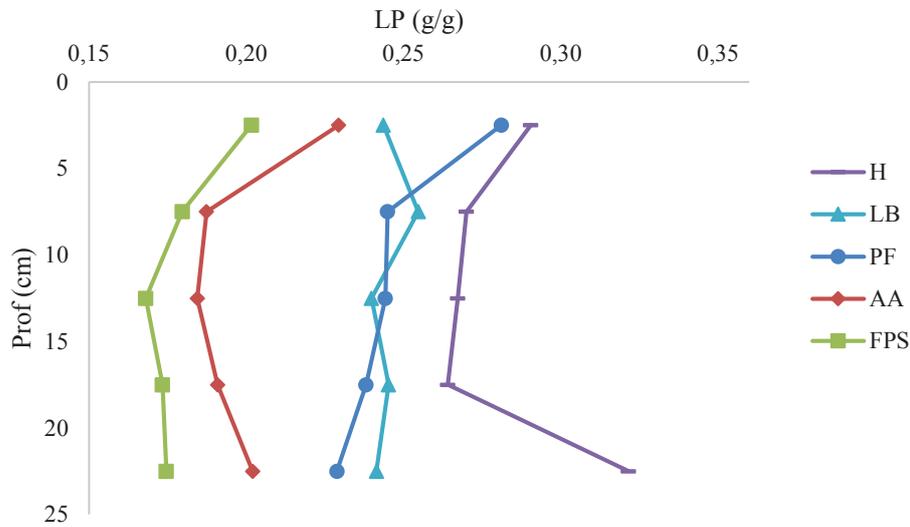
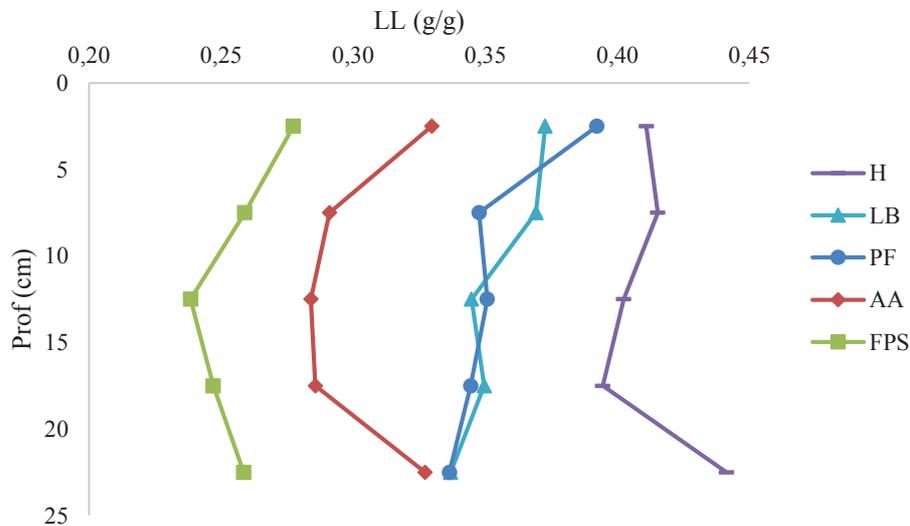


Figura 18 - Limite Líquido do solo em profundidade. Passo Fundo, 2019



Quanto a relação UOC/LP (Tabela 7), com exceção das camadas superficiais, em todos os solos estudados ocorreram valores superiores a 1,0, tendo valor de UOC superior ao LP. A relação de UOC/LP > 1,0 indica que a UOC se encontra fora da faixa de umidade friável do solo, teoricamente esse solo apresentaria menores problemas de compactação

(KLEIN, 2014). Neste trabalho esta relação foi influenciada pelo teor de MO do solo (Figura 20), diferentemente do encontrado por Marcolin (2006), onde o fator de maior influência nessa relação foi o teor de argila, que no presente trabalho não mostrou significância.

A relação da UOC e o teor de água no LP do solo (relação UOC/LP) é um indicador do teor de água no solo para realização de preparo ou manejo do solo adequado. Essa relação da UOC/LP aponta o teor de água no solo que ocasionaria maior compactação, ou seja, o teor de água em que não se deveria realizar manejo. Dessa maneira, determinar o teor de água em que os solos se tornam friável, ideal para executar preparo, é importante para definir a faixa de umidade em que poderão ser efetuados manejos que afetem o mínimo a estrutura do solo (KLEIN, 2014).

Na Figura 21 são demonstradas as relações UOC/LP dos solos nas profundidades amostradas. Pode-se observar um incremento positivo desta em profundidade para todos os solos. Com exceção do solos H, onde na última camada constata-se um decréscimo nessa relação.

Figura 19 - Relação entre o teor de argila e o índice de plasticidade do solo. Passo Fundo, 2019

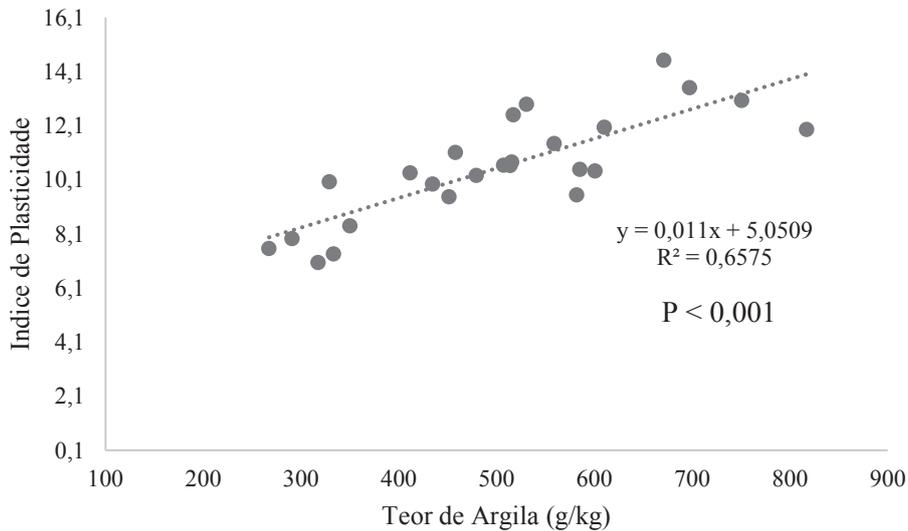


Figura 20 - Relação entre o teor de matéria orgânica do solo (MO) e a relação entre a umidade ótima de compactação e o limite plástico (UOC/LP). Passo Fundo, 2019

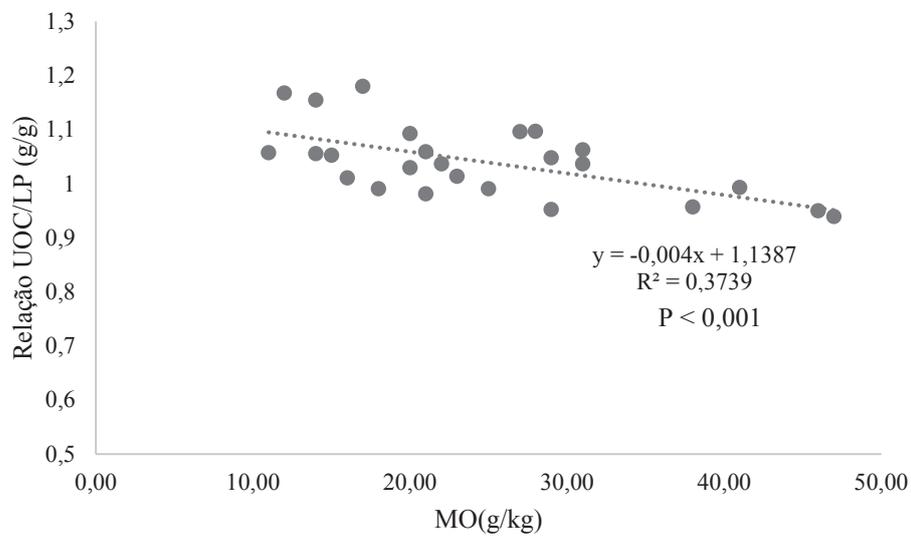
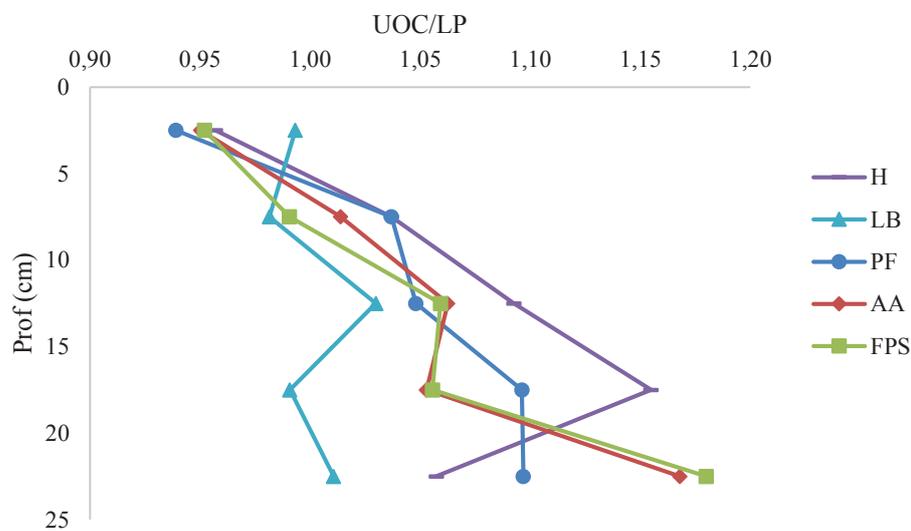


Figura 21 - Relação entre a umidade ótima de compactação e o Limite plástico (UOC/LP) de solos em profundidades. Passo Fundo, 2019



4.2.5 Aderência do solo

O teor de água no solo onde iniciou-se a aderência do solo no dispositivo de semeadura (Tabela 8) teve uma amplitude de 0,236 a 0,340 g/g dentre os solos estudados. Estatisticamente, houve diferença (F 1%) para os solos não para as profundidades.

Tabela 8. Teor de água no solo onde inicia a aderência de cinco solos coletados em cinco profundidades sob plantio direto, Passo Fundo, 2019

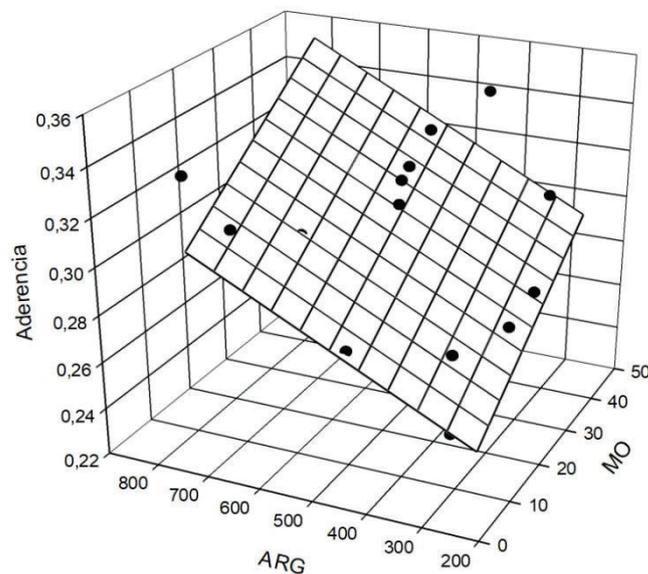
Solo	Prof. (cm)	Aderência	
		Ug (g/g)	*
H	0-5	0,292	
H	5-10	0,297	
H	10-15	0,286	a
H	15-20	0,305	
H	20-25	0,328	
LB	0-5	0,262	
LB	5-10	0,268	
LB	10-15	0,265	b
LB	15-20	0,260	
LB	20-25	0,273	
PF	0-5	0,340	
PF	5-10	0,338	
PF	10-15	0,324	a
PF	15-20	0,310	
PF	20-25	0,319	
AA	0-5	0,300	
AA	5-10	0,245	
AA	10-15	0,252	b
AA	15-20	0,255	
AA	20-25	0,266	
FPS	0-5	0,280	
FPS	5-10	0,269	
FPS	10-15	0,253	b
FPS	15-20	0,236	
FPS	20-25	0,265	

*Médias seguidas da mesma letra não diferiram entre si pelo teste de Tukey a 5%.

A aderência do solo foi influenciada pelos teores de argila e MO do solo (Figura 22). Este fato também foi observado por Ren et al. (2001), onde a adesão do solo tendeu a aumentar quanto maior foi a proporção de partículas de argila no solo. Para Chancellor (1994), fatores como a textura do solo, MO, umidade, porosidade, dentre outros afetam a aderência apresentada pelo solo.

Para Brady e Weil (2008), a MO é capaz de reduzir a plasticidade, coesão e aderência de solos argilosos, tornando-os mais fáceis de serem manejados.

Figura 22 - Relação entre a umidade do solo em que ocorre aderência do solo e os teores de matéria orgânica (MO) e argila (ARG). Passo Fundo, 2019

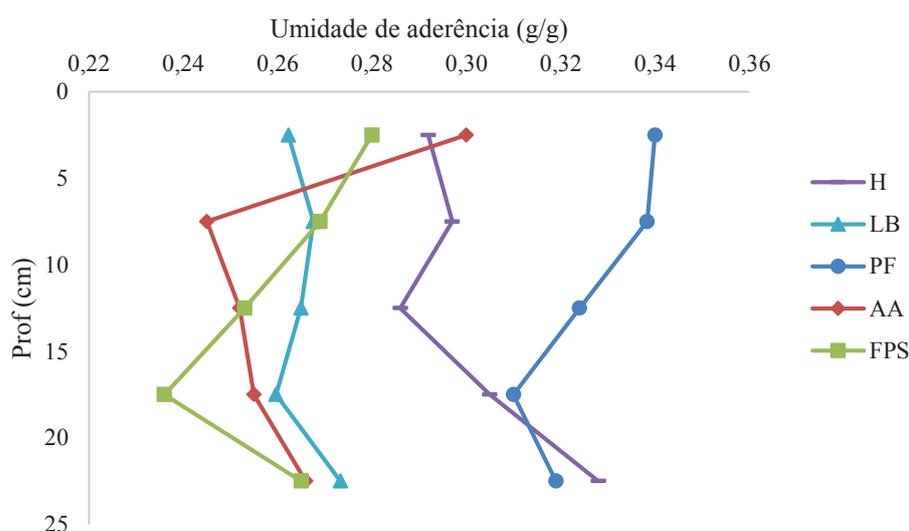


$$\text{Aderência} = 0,190 + (0,00156 * \text{MO}) + (0,000109 * \text{Arg}) \text{ P } 0,005$$

Quando em profundidade (Figura 23), a aderência comportou-se de maneira diferente para cada solo. Para os solos H e LB houve um incremento da umidade em que iniciou a aderência da primeira para a segunda camada analisada, enquanto para os demais solos, a primeira camada necessitou de uma umidade mais elevada neste momento, com uma redução nas próximas camadas, essa maior umidade implica no fato de que estas camadas poderiam ser manejadas anteriormente as demais, sem que haja aderência.

Nas camadas intermediárias houve uma redução da umidade em todos os solos, o que revela que nestas profundidades a aderência nos dispositivos dos implementos utilizados para algum possível manejo nestas, ocorreria mesmo com uma menor umidade do solo. Quando da camada mais profunda, todos os solos demonstraram uma elevação na umidade.

Figura 23 - Umidade gravimétrica do solo em que ocorreu aderência em profundidades. Passo Fundo, 2019



4.2.6 Germinação de sementes

A umidade do solo na qual ocorreu a germinação de sementes de soja (Tabela 9) variou entre 0,150 e 0,302 g/g. Esta foi estatisticamente diferente para os solos, mas não houve diferença significativa para as profundidades. A água é o fator que exerce a mais determinante influência sobre o processo de germinação (CARVALHO; NAKAGAWA, 1983), sendo assim um dos fatores essenciais para o processo de germinação, estabelecimento e desenvolvimento da cultura (MARCOS FILHO, 1986).

Para Popinigis (1977), a soja germina ao atingir 50% de umidade e, em função das relações água-semente no solo, a velocidade de emergência decresce progressivamente com o decréscimo da umidade do solo. Peske e Delouche (1985), avaliando germinação

de sementes de soja concluíram as sementes semeadas em solo com teor de umidade logo abaixo do mínimo para germinação e emergência, perdem sua capacidade para emergir mais rapidamente que quando semeadas em solo bem seco.

Tabela 9. Umidade na qual ocorreu a germinação de sementes de soja. Passo Fundo, 2019

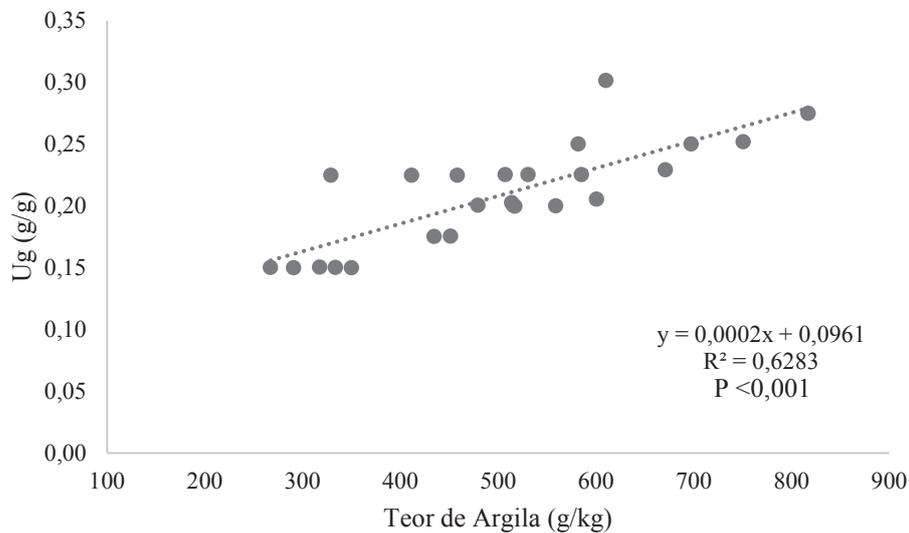
Solo	Prof. (cm)	Ug	
		g/g	*
H	0-5	0,302	
H	5-10	0,229	
H	10-15	0,250	a
H	15-20	0,252	
H	20-25	0,275	
LB	0-5	0,226	
LB	5-10	0,200	
LB	10-15	0,225	ab
LB	15-20	0,206	
LB	20-25	0,250	
PF	0-5	0,225	
PF	5-10	0,201	
PF	10-15	0,226	b
PF	15-20	0,203	
PF	20-25	0,201	
AA	0-5	0,225	
AA	5-10	0,225	
AA	10-15	0,175	b
AA	15-20	0,176	
AA	20-25	0,200	
FPS	0-5	0,150	
FPS	5-10	0,150	
FPS	10-15	0,151	c
FPS	15-20	0,150	
FPS	20-25	0,150	

*Médias seguidas da mesma letra não diferiram entre si pelo teste de Tukey a 5%.

A umidade ideal do solo para germinação de sementes de soja foi influenciada pelo seu teor de argila (Figura 24). Os solos mais arenosos obtiveram maior germinação em menores umidades, enquanto nos solos argilosos fez-se necessária uma maior umidade para que ocorresse a germinação. Peske e Delouche (1985) observaram que a faixa de umidade do solo mais favorável para germinação é dependente do tipo de solo.

Fagundes; Camargo e Costa (2011), estudando espécies arbóreas leguminosas, encontraram maior germinabilidade em solos arenosos, argumentando que este tipo de substrato retém pouca água para si. Da mesma forma Fowler et al. (1998), trabalhando com *Tabebuia cassinoides* (Lam.) DC (caixeta) obtiveram melhor germinação em solos arenosos ou franco-siltoso, em relação ao solo argiloso. A areia é um substrato que, com partículas de maior diâmetro, têm menor eficiência na adsorção de moléculas de água devido à sua menor área superficial, em comparação a solos com maiores proporções de argila (REIS et al., 2006).

Figura 24 - Relação entre o teor de argila do solo e a umidade para germinação de sementes de soja. Passo Fundo, 2019



Na Tabela 10 são apresentados os valores de potencial de água no solo onde ocorreu a máxima germinação das sementes, o qual foi obtido a partir das CRA. Observa-se grande variação entre os solos e profundidades, com valores desde $-7,56$ kPa, chegando até a ocorrer germinação em potenciais acima do PMP. Tamanha variação pode ter ocorrido em função de a variação da umidade nos potenciais ser mínima.

Uma das condições necessárias para a germinação das sementes é que haja um potencial hídrico ideal, pois pode interferir diretamente na captação de água pela mesma dificultando a embebição e posteriormente na expansão celular e desenvolvimento radicular (LOPES, 2008).

Brito et al., (1996) consideram que solo na capacidade de campo é considerado ótimo para a germinação de sementes, mas isto pode ocorrer com a umidade situando-se até mesmo no ponto de murcha permanente. Soares et al. (2015) afirmam que a germinação das sementes pode ser severamente afetada pelo baixo potencial hídrico, principalmente em solos que exibem maiores teores de sais.

Tabela 10. Potencial de água no solo na qual ocorreu a germinação de sementes de soja. Passo Fundo, 2019

Solo	Prof. (cm)	ψ_m - kPa
H	0-5	10,17
H	5-10	>1500
H	10-15	>1500
H	15-20	119,32
H	20-25	107,91
LB	0-5	52,72
LB	5-10	23,27
LB	10-15	22,53
LB	15-20	48,10
LB	20-25	8,44
PF	0-5	27,25
PF	5-10	60,05
PF	10-15	50,89
PF	15-20	>1500
PF	20-25	106,02
AA	0-5	25,54
AA	5-10	7,56
AA	10-15	36,68
AA	15-20	38,39
AA	20-25	30,66
FPS	0-5	63,68
FPS	5-10	42,93
FPS	10-15	29,42
FPS	15-20	39,20
FPS	20-25	47,36

Avaliando sementes de feijão, Moraes et al., (2005) verificou uma diminuição significativa da germinação a partir de – 200 kPa. Para soja, Peske e Delouche (1985) constataram que o potencial de água no solo, adequado para germinação em solo argiloso, estaria na faixa de -70 a -190 kPa, e em solos arenosos, de -30 a -140 kPa.

O índice de velocidade de germinação (IVG) com base no número das plântulas germinadas para cada solo é apresentado na Figura 25. É possível observar diferentes comportamentos das curvas de IVG em relação a umidade para cada um dos solos. Para os solos mais arenosos, como o FPS, o IVG é mais elevado já em umidades mais baixas, enquanto para solos mais argilosos, como o H, o IVG começa a crescer apenas em umidades mais elevadas.

Bocchese, et al. (2008), estudando germinação em espécies arbóreas nativas encontraram maior valor de IVG em solos arenosos quando em comparação a solos argilosos, porém com menor porcentagem de germinação.

Os altos valores de IVG indicam que a espécie germina rapidamente quando as condições ambientais adequadas são propiciadas às sementes. As plântulas com maior IVG possuem maior desempenho e, em contrapartida, maior capacidade de resistir a estresse, o que pode vir a interferir no crescimento e no desenvolvimento da planta (JUVINO et al., 2014). Pereira (1982) mostrou que à medida em que a semente permanece no solo sem emergir devido à deficiência de água, ocorre o ataque de microorganismos estimulados pela exsudação de açúcares, demonstrando que a falta de água no solo torna o IVG menor, expondo a semente a agentes fitopatogênicos.

Como é possível ver na Figura 26, todos os solos apresentam uma tendência para um platô, ou seja, um ponto a partir do qual o valor de IVG não varia mais. Isto demonstra que neste teor de água acontece um IVG a partir do qual não há mais diferença significativa, ou seja, ideal para que ocorra uma germinação em velocidade adequada.

Figura 25 - Relação entre a umidade do solo (UG g/g) e o índice de velocidade de germinação de sementes de soja em diferentes solos. Passo Fundo, 2019

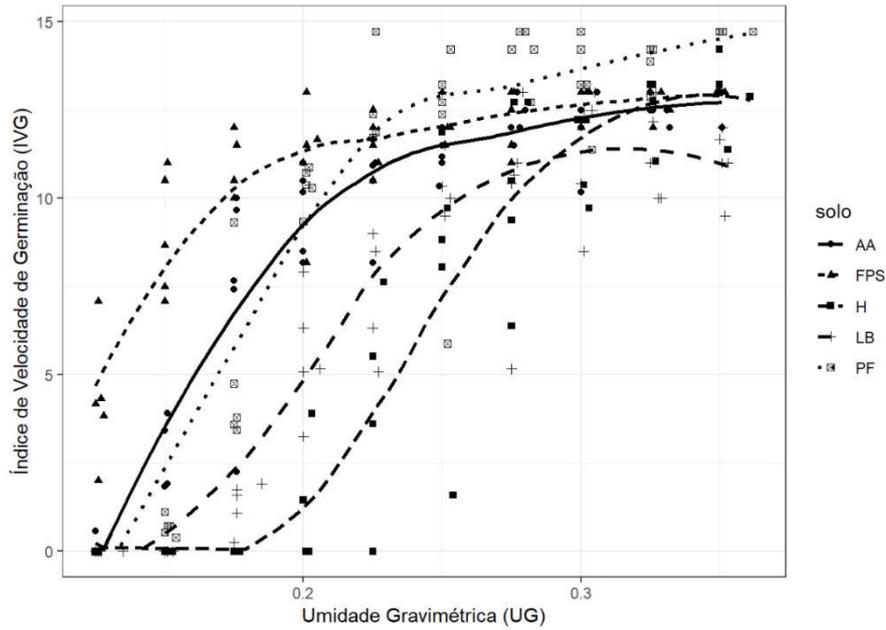
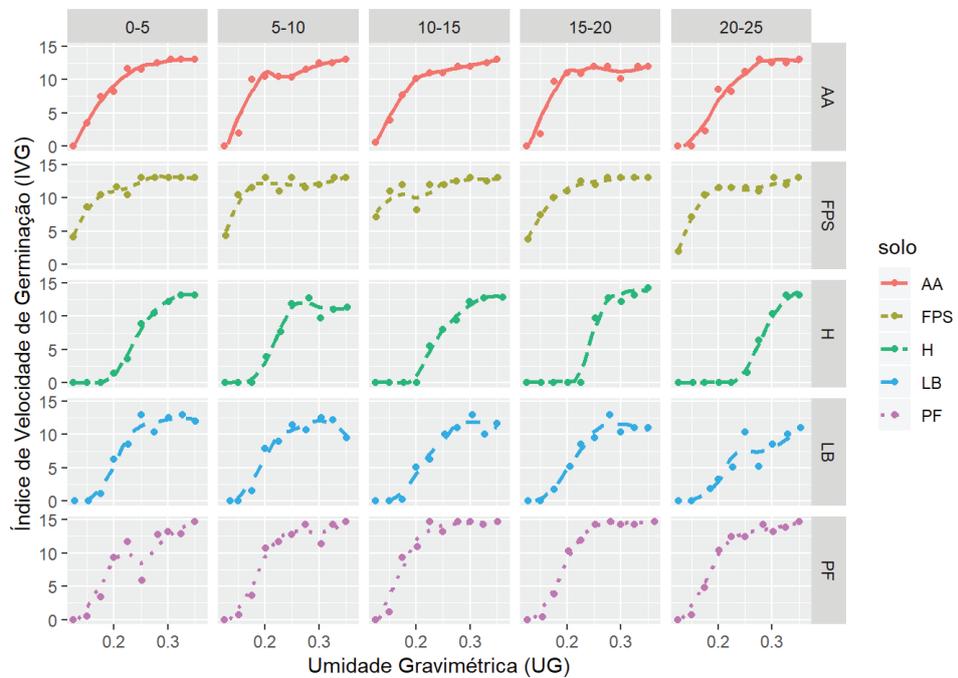


Figura 26 - Relação entre a umidade do solo (UG g/g) e o Índice de velocidade de germinação de sementes de soja em diferentes solos e profundidades. Passo Fundo, 2019



4.2.7 Análise conjunta de atributos físicos do solo relacionados a umidade do solo

Nas Figuras 27, 28, 29, 30, 31 são apresentadas as umidade do solo na umidade ótima de compactação (UOC) na capacidade de campo (CC), ponto de murcha permanente (PMP), limite plástico (LP), limite líquido (LL), aderência (AD) e germinação de sementes (GER) de diferentes solos em profundidade. Nesta pode-se observar que houve diferentes comportamentos para cada solo.

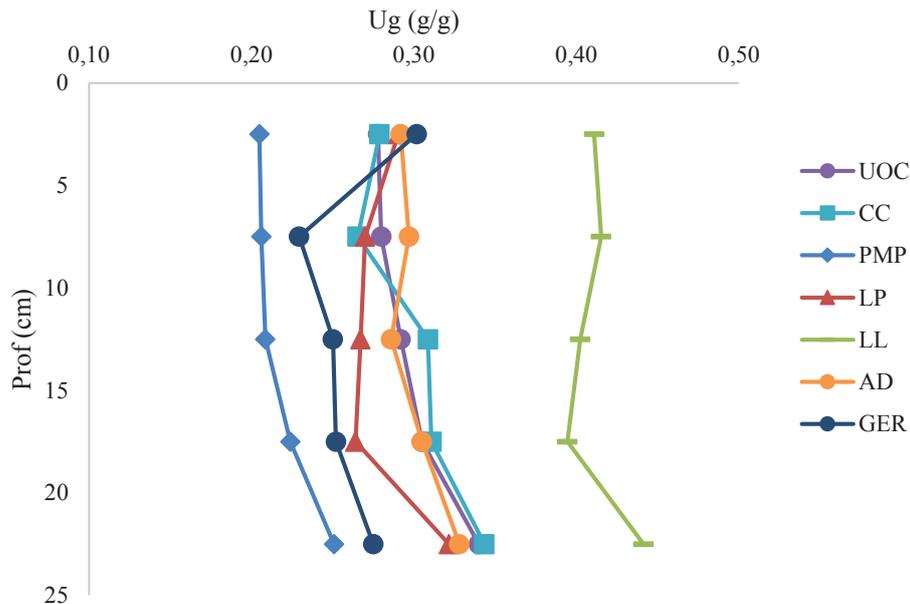
Visto que a trabalhabilidade do solo é a condição do solo quando as operações de lavoura podem ser realizadas proporcionando um mínimo dano estrutural, esse ponto ideal é determinado quando é possível realizar manejos com o mínimo esforço, obtendo os melhores resultados. Pode-se considerar os solos com a umidade mais adequada nesta situação na faixa entre a umidade em que ocorreu a germinação até a umidade onde iniciou a aderência de solo, no caso da semeadura.

A friabilidade por sua vez, corresponderia à faixa de umidade entre os limites de contração e plasticidade. Neste estado o solo está úmido, demonstrando as condições ideais de preparo do solo, sendo portanto, a faixa de friabilidade definida como a faixa de trabalhabilidade do solo (HILLEL, 1980). Nesta condição ainda ocorreria uma menor compactação e ao mesmo tempo a menor aderência do solo aos implementos agrícolas. Por outro lado, a semeadura realizada em solo seco resulta em menor eficiência dos dispositivos sulcadores, que, por sua vez, ocasiona menor contato solo-semente (KONDO; DIAS JÚNIOR, 1999). A determinação da umidade em que os solos se tornam friáveis é muito importante, uma vez que com esta é possível definir as faixas de umidade em que poderão ser feitos preparos ou manejos afetando o mínimo possível a estrutura do solo (KLEIN, 2014).

No solo H (Figura 27), composto por uma maior proporção da fração argila, a maior umidade está no limite líquido. A germinação se deu com umidade maior que o PMP, demonstrando valor maior na camada superficial. Os valores em que se deu a aderência do solo se mostraram bem próximos à UOC. Dessa forma um possível manejo

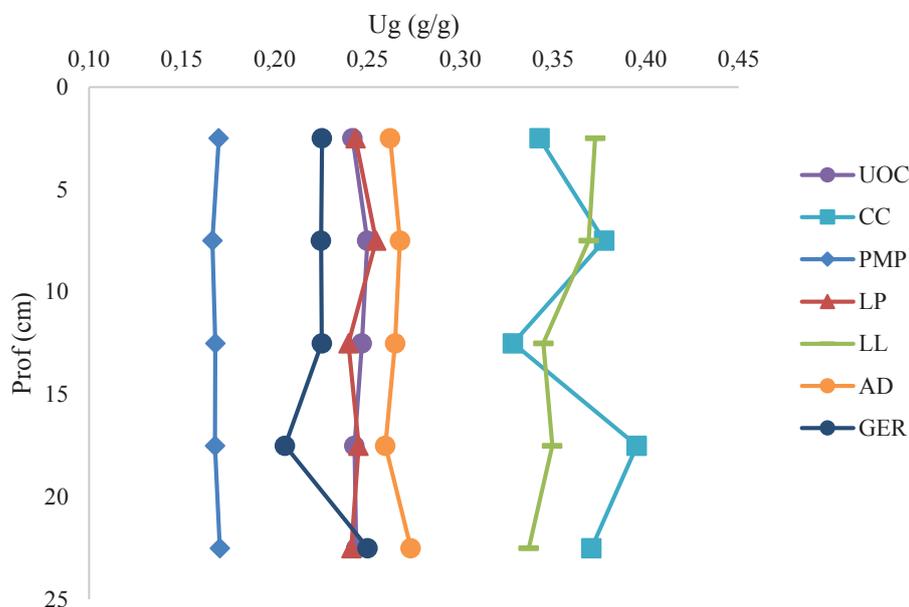
realizado nesta umidade estaria, além de sendo prejudicado pelo solo aderido aos dispositivos, propiciando uma possível compactação a este solo.

Figura 27 - Umidade do solo na umidade ótima de compactação (UOC) na capacidade de campo (CC), ponto de murcha permanente (PMP), limite plástico (LP), limite líquido (LL), aderência (AD) e germinação de sementes (GER) do solo H em profundidade. Passo Fundo, 2019



Para o solo LB (Figura 28), a umidade para germinação somente ultrapassou os valores de LP e UOC na última camada avaliada, sendo inferior nas demais. Os valores de UOC e LP mostraram próximos, ficando ainda assim abaixo dos valores de aderência. CC e LL apresentaram valores de Ug mais elevados, se interpassando em algumas profundidades avaliadas. Para Agne (2013) quando o teor de umidade do solo no LL for próximo à CC o solo estará sujeito a problemas de trafegabilidade de máquinas ou de animais, pois nessa condição o solo perde as propriedades de suporte a pressões podendo afundar.

Figura 28 - Umidade do solo na umidade ótima de compactação (UOC) na capacidade de campo (CC), ponto de murcha permanente (PMP), limite plástico (LP), limite líquido (LL), aderência (AD) e germinação de sementes (GER) do solo LB em profundidade. Passo Fundo, 2019



O solo PF (Figura 29), demonstrou para todos os parâmetros no gráfico valores de U_g maiores na camada superficial, o que pode ter ocorrido por esta possuir normalmente maiores teores de MO em sua composição. O LP foi maior que a UOC apenas na primeira camada, enquanto nas demais observa-se o inverso, está UOC menor do que o LP foi observada por Ekwue e Stone (1997).

No solo AA a umidade para germinação foi superior a UOC e LP em camadas superficiais, e menor que estas nas camadas inferiores (Figura 30). A aderência se deu abaixo do LL, que por sua vez foi inferior à CC.

O solo FPS (Figura 31) possui uma predominância da fração areia em sua composição. Neste, a U_g na CC foi mais elevada dentre os parâmetros analisados. A umidade para germinação se mostrou inferior, se comparada aos demais solos avaliados, ocorrendo em algumas profundidades até abaixo do PMP. Os valores de aderências ficaram próximos aos de LL, enquanto a UOC foi próxima do LP.

Figura 29 - Umidade do solo na umidade ótica de compactação (UOC) na capacidade de campo (CC), ponto de murcha permanente (PMP), limite plástico (LP), limite líquido (LL), aderência (AD) e germinação de sementes (GER) do solo PF em profundidade. Passo Fundo, 2019

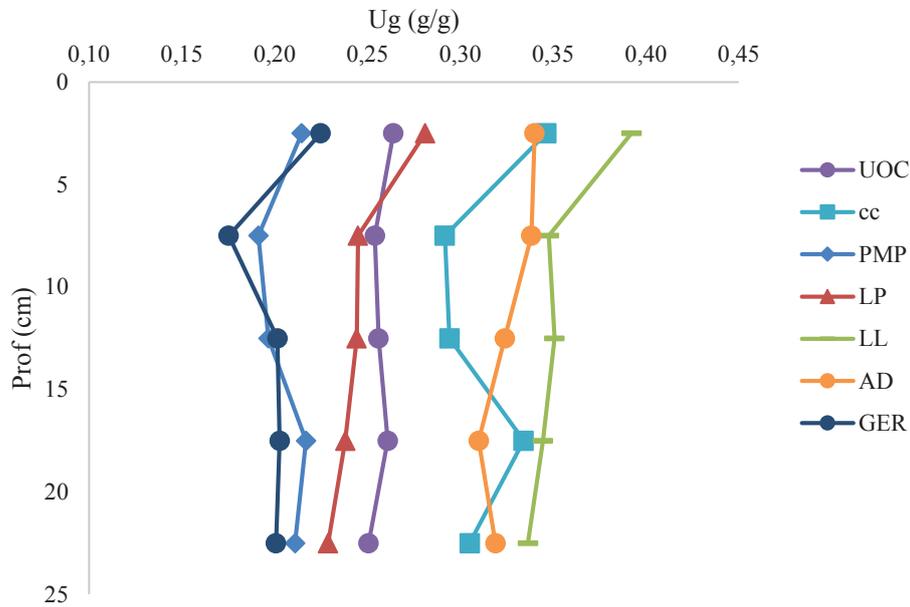


Figura 30 - Umidade do solo na umidade ótica de compactação (UOC) na capacidade de campo (CC), ponto de murcha permanente (PMP), limite plástico (LP), limite líquido (LL), aderência (AD) e germinação de sementes (GER) do solo AA em profundidade. Passo Fundo, 2019

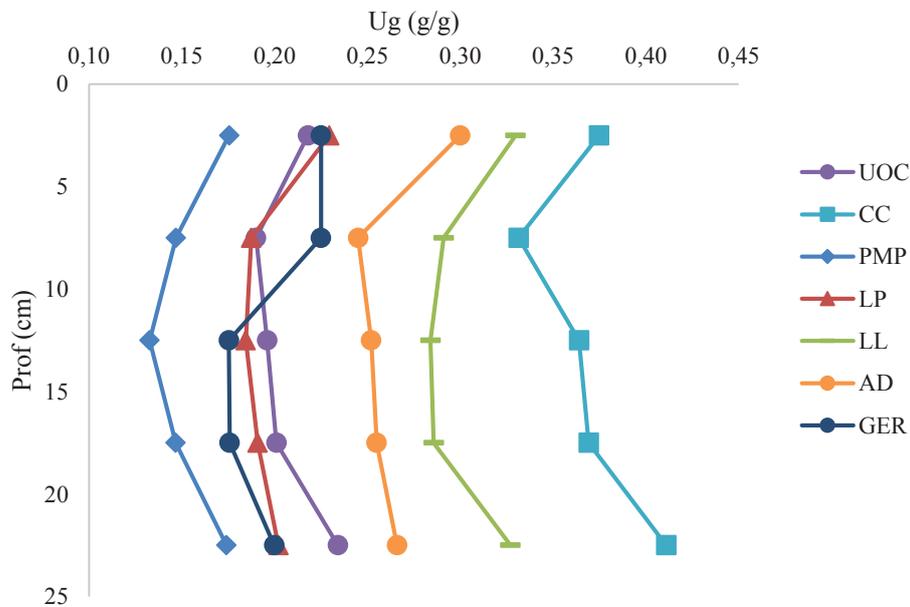
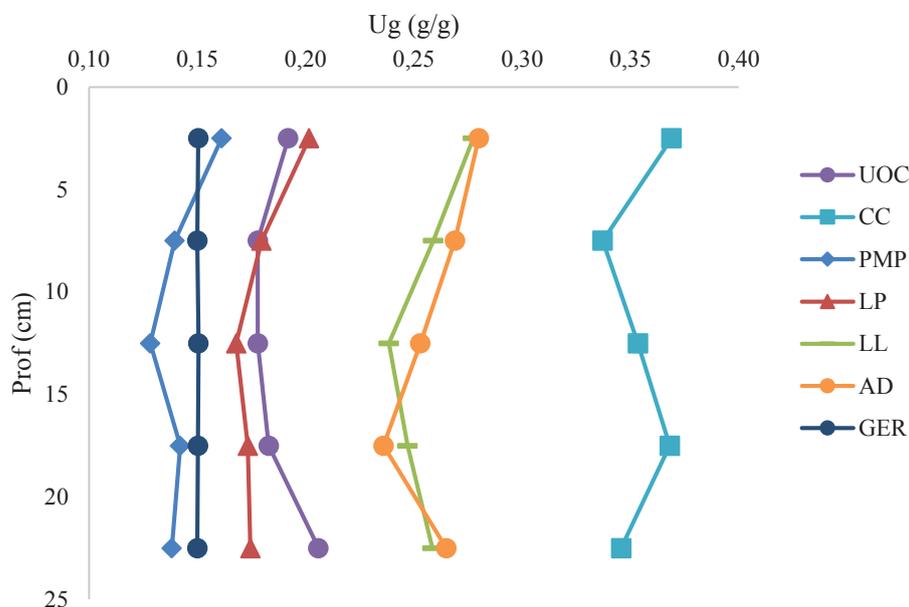


Figura 31 - Umidade do solo na umidade ótima de compactação (UOC) na capacidade de campo (CC), ponto de murcha permanente (PMP), limite plástico (LP), limite líquido (LL), aderência (AD) e germinação de sementes (GER) do solo FPS em profundidade. Passo Fundo, 2019



O PMP nos solos avaliados foi a menor umidade observada nos gráficos, a exceção de pontos superficiais nos solos PF e FPS. A CC por sua vez somente apresentou como a umidade mais elevada nos solos AA e FPS. A faixa de umidade encontrada entre os valores de PMP e CC comumente é descrita como a água disponível dos solos.

A umidade em que ocorreu aderência dos solos se deu entre os valores de limite plástico e limite líquido, o que também foi observado por Ren et al. (2001). com exceção do solo FPS, onde em alguns pontos o LL foi superior a umidade de aderência.

Quando da ocorrência de aderência do solo nos dispositivos do implemento, esta aumenta a área superficial do mesmo, o que acaba por alterar a profundidade de semeadura e pode ainda propiciar embuchamento, pois a palha deixa de ser cortada (ARAÚJO et al., 2001). Ocorre ainda a abertura de sulcos mais largos, com uma maior mobilização de solo, o que não é desejado em para uma boa semeadura em SPD. Estas

alterações geram problemas no estabelecimento da cultura, proporcionando deficiências no estande de plantas e, conseqüentemente, na produtividade da cultura.

Uma semente precisa impacta na produtividade, por conseqüência esta deve ser realizada em uma janela de umidade adequada. Entre as umidades de germinação e aderência a semente possivelmente acarretaria em melhores resultados e menos danos. Peske e Delouche (1985), afirmam que a faixa de umidade do solo mais favorável para germinação depende do tipo de solo em que se está semeando.

Semente em umidades muito elevadas pode favorecer o aparecimento de patógenos, que acabam por atacar a semente e prejudicar a emergência e estande de plantas, como pode ser observado em inúmeras áreas na safra de soja 2018/19. Condições de acúmulo de água no solo e compactação, favoreceram a ocorrência de fungos de solo, o que promoveu atraso na emergência das plântulas, fazendo com que as mesmas ficassem mais vulneráveis à infecção dos fungos de solo (DEUNER; CARDOSO, 2018).

Como para todos os solos a aderência se iniciou em umidades acima da UOC, com exceção de algumas profundidades do solo H, o mais adequado para a realização de manejos seria a observação de uma condição em que a umidade esteja abaixo da UOC, no caso da semente, entre os limites de germinação e UOC.

A UOC é um importante parâmetro a ser conhecido em um solo, quanto menor a UOC, mais propenso um solo está de ser compactado, uma vez que manejado com menor umidade comparado aos demais estará correndo risco. A semente em umidade abaixo da UOC, minimiza os riscos de compactação do solo nesta operação. Acima poderia, além de compactar, ocasionar em aderência.

Comumente, áreas de pastagens são semeadas antes, ou seja, com um maior teor de água. Isto ocorre por estas tenderem a ser áreas mais compactadas devido ao pisoteio, dessa forma uma umidade maior dá ao solo menor resistência a penetração, tornando a operação mais fácil.

Considerando que o teor de argila exerceu influência nas umidades de aderência, germinação e UOC, o teor de argila de um solo infere na janela de semeadura do mesmo, além do teor de MO.

Quadro 1 - Correlação de Pearson dos atributos físico-hídricos de solos sob plantio direto. Passo Fundo, 2019

		LP	LL	IP	Aderência	Germinação	UOC
ARG	CC	0,816	0,868	0,811	0,368	0,802	0,914
	P	0,0000007	0,0000000	0,0000009	0,0704000	0,0000014	0,0000000
Silte	CC	0,712	0,739	0,654	0,192	0,747	0,604
	P	0,0000666	0,000024	0,000387	0,357	0,0000179	0,00139
Areia	CC	-0,849	-0,897	-0,825	-0,337	-0,851	-0,885
	P	0,0000001	0,0000000	0,0000004	0,1000000	0,0000001	0,0000000
MO	CC	0,173	0,145	0,0581	0,367	0,124	-0,0571
	P	0,41	0,488	0,783	0,0714	0,555	0,786
DSS	CC	0,0309	0,0518	0,0843	-0,123	0,0429	0,183
	P	0,883	0,806	0,689	0,557	0,839	0,381
PT	CC	0,426	0,366	0,167	0,678	0,186	0,481
	P	0,0339	0,0723	0,424	0,000196	0,372	0,0148
Dsmáx	CC	-0,906	-0,891	-0,692	-0,768	-0,7	-0,901
	P	0,0000000	0,0000000	0,0001260	0,0000073	0,0000981	0,0000000
DS	CC	-0,48	-0,409	-0,182	-0,772	-0,214	-0,506
	P	0,0153	0,0423	0,384	0,0000061	0,303	0,00989
LP	CC		0,972	0,729	0,682	0,858	0,936
	P		0,0000000	0,0000358	0,0001720	0,0000000	0,0000000
LL	CC			0,87	0,622	0,879	0,946
	P			0,0000000	0,0009050	0,0000000	0,0000000
IP	CC				0,377	0,752	0,789
	P				0,0634	0,0000146	0,00000273
Aderência	CC					0,408	0,674
	P					0,0431	0,000219
Germinação	CC						0,809
	P						0,00000099

CC=coeficiente de correlação

No quadro 1 encontra-se a correlação entre os atributos físico-hídricos dos solos avaliados.

O teor de argila teve uma elevada correlação com praticamente todas as propriedades físico-hídricas avaliadas, sendo positiva para todas. A areia mostrou também uma relação elevada, por sua vez, negativa.

Uma correlação indica uma associação entre as variáveis, não necessariamente de causa e efeito. O par de variáveis com coeficientes de correlação positivos e valores de P abaixo de 0,050 tendem a aumentar juntos. Para os pares com coeficientes de correlação negativos e valores de P abaixo de 0,050, uma variável tende a diminuir enquanto a outra aumenta. Para pares com valores de P maiores que 0,050, não há relação significativa entre as duas variáveis.

O teor de argila consistiu na propriedade físico-hídrica que mais exerceu efeito sobre os demais fatores avaliados, acompanhada pela MO. Estas inferiram sobre os valores de DSS, Dsmáx, UOC, LL, LP e aderência. Por sua vez, o IP e a umidade para germinação foram influenciados pela argila, sem significância da MO.

5 CONCLUSÃO

A trabalhabilidade do solo é influenciada por suas propriedades físico-hídricas.

A umidade onde ocorre aderência no dispositivo de semeadora é influenciada pelo teor de argila e matéria orgânica do solo, assim como a umidade ótima de compactação.

A umidade do solo para germinação de sementes de soja é dependente do seu teor de argila.

A umidade ótima de compactação é inferior a umidade de aderência, devendo esta ser observada para que se estabeleça uma janela de semeadura adequada.

A umidade adequada para semeadura da soja se dá entre os limites de umidade para germinação e umidade ótima de compactação.

REFERÊNCIAS

- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Projeto de Norma 04:015:06-004. Semeadora de precisão: ensaio de laboratório.** São Paulo, 1994. 22p.
- ABREU, D. C.; NOGUEIRA, A. C.; MEDEIROS, A. C. S. Efeito do substrato e da temperatura na germinação de sementes de cataia (*Drimys brasiliensis* Miers. Winteraceae). **Revista Brasileira de Sementes**, Pelotas, RS, v. 27, n. 1, p. 149-157, 2005.
- AGNE, S., A. **Atributos físico-hídrico-mecânicos de um Latossolo Vermelho após aplicações de dejetos suíno em pastagem perene.** 139 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2013.
- AKIYAMA Y, YOKOI O. Study on soil adhesion. **Journal Japan Soil Fertilizer Science**, v.43, p. 271–277, 1972.
- AMADO, T. J. C.; NICOLOSO, R.; LANZANOVA, M.; SANTI, A.L.; LOVATO, T. A compactação pode comprometer os rendimentos de áreas sob plantio direto. **Revista Plantio Direto**, n. 89, p. 34-42, 2005.
- ANDREOLLA, V.R.M.; GABRIEL FILHO, A. Demanda de potência de uma semeadora com dois tipos de sulcadores em áreas compactadas pelo pisoteio de animais no sistema integração lavoura-pecuária. **Revista Engenharia Agrícola**, n. 26, p. 768-776. 2006.
- ARAÚJO, A. G.; CASÃO JÚNIOR, R.; SIQUEIRA, R. **Mecanização do plantio direto: problemas e soluções.** Londrina: Instituto Agrônômico do Paraná. 2001, 18p. Informe da Pesquisa, n.137
- ARGENTON J.; ALBUQUERQUE, J.A.; BAYER, C. & WILDNER, L.P. Comportamento de atributos relacionados com a forma da estrutura de Latossolo Vermelho sob sistemas de preparo e plantas de cobertura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 29 p. 425-435, 2005.
- ASSIS, R. L.; LANÇAS, K. P. Avaliação dos atributos físicos de um Nitossolo vermelho distroférico sob sistema plantio direto, preparo convencional e mata nativa. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, n. 29, p. 515-522, 2005.
- BERTELLI, G. A.; JADOSKI, S. O.; DOLATO, M. da L.; RAMPIM, L.; MAGGI, M. F. Desempenho da plantabilidade de semeadoras pneumática na implantação da cultura da soja no cerrado piauiense – Brasil. **Brazilian Journal of Applied Technology for Agricultural Science**, Guarapuava, v.9, n.1, p. 91-103, 2016.

BEUTLER, A.N.; CENTURION, J.F. & SILVA, A.P. Soil resistance to penetration and least limiting water range for soybean yield in a haplustox from Brazil. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, 48 p. 863-871, 2005.

BEUTLER, A.N.; FREDDI, O.S.; LEONE, C.L. E CENTURION, J.F. Densidade do solo relativa e parâmetro S como indicadores da qualidade física para culturas anuais. *Revista de Biologia e Ciências da Terra*, vol.8, n.2, p. 27-36. 2008

BEWLEY, J. D.; BLACK, M. **Seeds**: physiology of development and germination. New York: Plenum Press, 1994. 445 p.

BILIBIO, W. D.; CORRÊA, G. F.; BORGES, E. N. Atributos físicos e químicos de um Latossolo, sob diferentes sistemas de cultivo. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 34, p. 817-822, 2010.

BOCCHESE, R. A. et al. Efeito de diferentes tipos de solos na germinação de sementes de *Tabebuia heptaphylla*, em casa telada. **Cerne**, Lavras, v. 14, n. 1, p. 62-67, 2008.

BOCHTIS, D; SORENSEN, C; BUSATO, P. Advances in agricultural machinery management: A review. **Biosystems Engineering**. v. 26 p. 69–81. 2014.

BONINI, A. K. ; SECCO, D.; SANTOS, R. F.; REINERT. D. J.; REICHERT, J. M. Atributos físico-hídricos e produtividade de trigo em um Latossolo sob estados de compactação. **Ciência Rural** . 2011, vol.41, n.9, p. 1543-1548. Epub Sep 16, 2011.

BRADY, N. C.; WEIL, R. R. **The nature and properties of soils**. 14 ed. New Jersey: Prentice Hall, 2008. 965 p.

BRAIDA, J.A. **Acúmulo de resíduos vegetais na superfície e de matéria orgânica no solo e suas implicações no comportamento mecânico do solo sob plantio direto**. Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, 2004. 106p. (Tese de Doutorado)

BRAIDA, J.A.; REICHERT, J.M.; DALVAN, J.; REINERT, D.J. & VEIGA, M. Teor de carbono orgânico e a susceptibilidade à compactação de um Nitossolo e um Argissolo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 14 p. 131-139, 2010.

BRITO, L.T.L.; LOUREIRO, B.T.; DENICULI, W.; RAMOS, M.M.; SOARES, J.M. Influência do método na determinação da velocidade de infiltração. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 20:503-507, 1996.

BROCH, D. T.; KLEIN, V. A. Maximum soil density of Entisols as a function of silt content. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 47, n. 12, 2017.

BROWN, V.; BARBOSA, F. T.; BERTOL, I.; MAFRA, A. L.; MUZEKA, L. M. Efeitos no solo e nas culturas após vinte anos de cultivo convencional e semeadura direta. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**. v. 13, n. 1, p. 1-7, 2018.

CAMPBELL, D. J.; OSULLIVAN, M. F. The cone penetrometer in relation to trafficability, compaction, and tillage. In: SMITH, K.A.; MULLINS, C.E. *Soil analysis*. New York: Marcell Dekker, p. 399-423, 1991.

CARDUCCI, C. E.; OLIVEIRA, G. C.; SEVERIANO, E. C.; ZEVIANI, W. M. Modelagem da curva de retenção de água de Latossolos utilizando a Equação Duplo Van Genuchten. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, p.77-86, 2011.

CARVALHO, M. A. C.; SORATTO, R. P.; ATHAYDES, M. L. F.; ARF, O.; SÁ, M.E. Produtividade do milho em sucessão a adubos verde no sistema de plantio direto e convencional. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, n. 39, p. 47-53, 2004.

CARVALHO, N.M.; NAKAGAWA, J. Germinação. In: CARVALHO, N.M.; NAKAGAWA, J. **Sementes - ciência, tecnologia e produção**. 2.ed. Campinas: Fundação Cargill, 1983. Cap.7, p. 107-143.

CAVALIERI, K.M.V.; CARVALHO, L.A. de; SILVA, A.P. da; LIBARDI, P.L.; TORMENA, A.C. Qualidade física de três solos sob colheita mecanizada de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, p. 1541-1550, 2011.

CENTURION, J, F.; ANDRIOLI, I, Regime hídrico de alguns solos de Jaboticabal, **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v.24, n. 4, p. 701-709, 2000.

CHANCELLOR, W. J. Soil physical properties, advances in soil dynamics. St. Joseph: **American Society of Agricultural Engineers**, 1994. p. 21-254

COLLARES, G. L.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; KAISER, D. R. Qualidade física do solo na produtividade da cultura do feijoeiro num Argissolo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, p. 1663-1674, 2006.

CONCEIÇÃO, P.C.; AMADO, T.J.C. & MIELNICZUK, J. & SPAGNOLLO, E. Qualidade do solo em sistemas de manejo avaliada pela dinâmica da matéria orgânica e atributos relacionados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 29 p. 777-788, 2005.

CONTE, O.; LEVIEN, R.; TREIN, C.R.; MAZURANA, M.; DEBIASI, H. Resistência mecânica do solo e força de tração em hastes sulcadoras de semeadoras-adubadoras em sistema de integração lavoura-pecuária. **Engenharia Agrícola**, v. 28, p. 730-739, 2008.

DE MARIA, I. C.; CASTRO, O. M.; DIAS, H. S. Atributos físicos do solo e crescimento radicular de soja em Latossolo Roxo sob diferentes métodos de preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, n. 3, p. 703-709, 1999.

DEMATTE, J.L.I. **Manejo de solos ácidos dos trópicos úmidos região amazônica**. Campinas: Fundação Cargill, 1988. 215p.

DENARDIN, J. E.; KOCHHANN, R. A.; FAGANELLO, A.; SANTI, A.; DENARDIN, N. D.; WIETHÖLTER, S. Diretrizes do sistema plantio direto no contexto da agricultura

conservacionista. **Boletim de pesquisa e desenvolvimento online**, n. 141, Passo Fundo, 2012.

DEUNER, C. C.; CARDOSO, C. A. A. Nota Técnica do Laboratório de Fitopatologia/Nematologia da UPF. Passo Fundo, 2018.

DEXTER, A. R.; BIRD, N. R. A. Methods for predicting the optimum and the range of water contents for tillage based on the water retention curve. **Soil & Tillage Research**, v.57, p. 203-212, 2001.

DEXTER, A. R.; RICHARD, G. Tillage of soils in relation to their bi-modal pore size distributions. **Soil and Tillage Research**, v. 103, p. 113-118, 2009.

DIAS JUNIOR, M.S.; MIRANDA, E.E.V. Comportamento da curva de compactação de cinco solos da região de lavras (MG). **Ciência Agrotécnica**, Lavras, v.24, n.2, p.337-346, 2000.

EARL, R. Prediction of trafficability and workability from soil moisture deficit. **Soil and Tillage Research**, v.40, p.155-168, 1997.

EDWARDS, G., WHITE, D. R., MUNKHOLM, L. J., SØRENSEN, C. G. AND LAMANDÉ, M. Modelling the readiness of soil for different methods of tillage. **Soil & Tillage Research**. Elsevier B.V., 155, pp. 339–350. 2016.

EKWUE, E. I.; STONE, R. J. Density-moisture relations of some Trinidadian soils incorporated with sewage sludge. **Transaction of the ASAE**, St. Joseph, v. 40, p. 317-323, 1997.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3.ed. Brasília, 2013. 353p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (Embrapa). **Manual de métodos de análise de solo**. 3. ed. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Embrapa/CNPS), 2016. 212p.

FAGUERIA, N. K.; STONE, L. F. **Qualidade do solo e meio ambiente**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2006. (Documento 197)

FAGUNDES, M.; CAMARGO; COSTA. A qualidade do solo afeta a germinação das sementes e o desenvolvimento das plântulas de *Dimorphandra mollis* Benth. (Leguminosae: Mimosoideae). **Acta Botanica Brasilica**, v.25, n.4, p.908-915, 2011.

FALLAHI, S.; RAOUFAT, M. H. Row-crop planter attachments in a conservation tillage system: A comparative study. **Soil & Tillage Research**, v.1, n. 98, p. 27-34, 2008.

FIDALSKI, J.; TORMENA, C.A.; SILVA, Á.P. da. Least limiting water range and physical quality of soil under groundcover management systems in citrus. **Scientia Agricola**, v.67, p. 448-453, 2010.

FIGUEIREDO, L. H. A.; DIAS JUNIOR, M. S.; FERREIRA, M. M. Umidade crítica de compactação e densidade do solo máxima em resposta a sistemas de manejo num Latossolo Roxo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.24, n.3, p. 487-493, 2000.

FONTANELA, E. **Parâmetros físico-hídricos de um Latossolo sob diferentes sistemas de manejo e níveis de tráfego**. Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, 2008. 72p. (Dissertação de Mestrado)

FOUNTAIN E. R. Investigations into the mechanism of soil adhesion **Journal of Soil Science**, V. 2, 1954.

FOWLER, J. A. P., CURCIO, G. R., RACHWAL, M. F. G. & KUNIYOSHI, Y. Germinação e vigor de sementes de *Tabebuia cassinoides* (Lam.) DC coletadas em diferentes caxetais do litoral paranaense. In. **COMUNICADO TÉCNICO** n. 4. Colombo: Embrapa Florestas. 1998.

FURLANI, C.E.A.; LOPES, A.; REZENDE, L.C.; SOUZA E SILVA, S.S. & LEITE, M.A.S. Influência da compactação do solo na emergência das plântulas de milho a diferentes profundidades de semeadura. **Engenharia Agrícola**, v.9 p. 147-153, 2001

GARCIA, S.H.; ROZZETTO, D.S.; COIMBRA, J.L.M.; GUIDOLIN, A.F. Simulação de estresse hídrico em feijão pela diminuição do potencial osmótico. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v.11, n.1, p. 35-41, 2012.

GASSEN, D. N.; GASSEN, F. R. **Semeadura direta**. Passo Fundo: Aldeia Norte, 1996. 207 p.

GAUDÊNCIO, C.; GAZZIERO, D.L.P.; JASTER, F.; GARCIA, A.; WOBETO, C. População de plantas de soja no sistema de semeadura direta para o centro-sul do Estado do Paraná. **Comunicado Técnico do Centro Nacional de Pesquisa de Soja**, n.47, p.1-4, 1990.

GIOIA, M. T. **Produtividade e qualidade da cana soca correlacionadas com atributos físico-químicos de um Argissolo Vermelho distrófico do noroeste Paulista**. 2011. 127f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2011.

GUPTA, S. C.; LARSON, W. E. Estimating soil water retention characteristics from particle size distribution, organic matter percent, and bulk density. **Water Research**, v.15, p.1633-1635, 1979.

HADAS, A.; D. WOLF. Energy efficiency in tilling dry clod forming soils. **Soil & Tillage Research**, v.3, p. 47-59. 1983.

HÅKANSSON, I. & LIPIEC, J. A review of the usefulness of relative bulk density values in studies of soil structure and compaction. **Soil & Tillage Research**, 53 p. 71-85, 2000.

HEIFFIG, L.S.; CÂMARA, G.M.S.; MARQUES, L.A.; PEDROSO, D.B.; PIEDADE, S.M.S. Fechamento e índice de área foliar da cultura da soja em diferentes arranjos espaciais. **Bragantia**, v.65, n.2, p. 285-295, 2006.

HILLEL, D. **Fundamentals of soil physics**. New York, Academic Press, 1980. p.5-49; 50-75; 147-196.

HUMMEL, J.W.; GRAY, L.E. & NAVE, W.R. Soybean emergence from field seedbed environments, **Trans. Am. Soc. Agron. Eng.**, v.24 p. 872-878, 1981.

JUVINO, A.N.K.; RESENDE, O.; COSTA, L.M.; SALES, J.F. Vigor da cultivar BMX Potência RR de soja durante o beneficiamento e períodos de armazenamento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.18, n.8, p. 844–850, 2014.

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

KER, J.C. Latossolos do Brasil: uma revisão. **Geonomos**, v.5, p. 17-40, 1997.

KIEHL, E. J. **Manual de edafologia**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1979. 262p.

KLEIN, V. A. **Física do Solo**. 3.ed. Passo Fundo: UPF editora, 2014, 263 p.

KLEIN, V. A. **Propriedades físico-hídrico-mecânicas de um latossolo roxo, sob diferentes sistemas de uso e manejo**. Piracicaba: ESALQ/USP, Tese Doutorado, 150 p. 1998.

KLEIN, V. A.; BASEGGIO, M.; MADALOSSO, T.; MARCOLIN, C. D. Textura do solo e a estimativa do teor de água no ponto de murcha permanente com Psicrômetro. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 40, n. 7, p. 1550-1556, 2010.

KLEIN, V.A. & LIBARDI, P.L. Condutividade hidráulica de um Latossolo Roxo, não-saturado, sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Ciência Rural**, v. 32, p. 945-953, 2002.

KLEIN, V.A. Densidade relativa – um indicador de qualidade física de um Latossolo Vermelho. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, 5: p. 26-32, 2006.

KLEIN, V.A.; BOLLER, W. Avaliação de diferentes métodos de manejos de solo e métodos de semeadura em áreas sob plantio direto. **Ciência Rural**, v. 25, p. 395-398, 1995.

KONDO, M.K. & DIAS JUNIOR, M.S. Compressibilidade de três Latossolos em função da umidade e uso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 23: p. 211-218, 1999.

LEÃO, T.P.; SILVA, A.P.; MACEDO, M.C.M.; IMHOFF, S. & EUCLIDES, V.P.B. Intervalo hídrico ótimo na avaliação de sistemas de pastejo contínuo e rotacionado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 28: p. 415-423, 2004.

LEÃO, T.P.; SILVA, A.P.; PERFECT, E. & TORMENA, C.A. An algorithm for calculating the least limiting water range of soil using SAS. **Agronomy Journal**, 97: p. 1210-1215, 2005.

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

LOPES, J. C.; MACEDO, C. M. P. Germinação de Sementes de Couve Chinesa Sob Influência do Teor de Água, Substrato e Estresse Salino. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 30, n. 3, p. 79-85, 2008.

LUCIANO, R. V. ALBUQUERQUE, J. A.; COSTA, A.; BATISTELLA. B.; WARMLING, M. T. Atributos físicos relacionados à compactação de solos sob vegetação nativa em região de altitude no Sul do Brasil. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v. 36, p. 1733-1744, 2012.

MACHADO. A. L. T.; REIS, A. V.; FERREIRA, M. F. P.; MACHADO, R. L. T.; MACHADO, A. L. C.; BAUER, G. B. Influência da pressão de inflação do pneu do trator na resistência do solo à penetração. **Revista Brasileira de Agrocências**, Pelotas, v. 11, n. 4, p. 481-486, 2005.

MAGUIRE, J. D. Speed of germination-aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. **Crop Science**, v. 2, n. 1, jan./feb. 1962. 176-177p.

MAHL, D.; SILVA, R.B.; GAMERO, C.A.; SILVA, P.R.A. Resistência do solo à penetração, cobertura vegetal e produtividade do milho em plantio direto escarificado. **Acta Scientiarum Agronomy**. v. 30, p. 741-7. 2008.

MARCOLIN, C. D. **Uso de pedotransferência entre atributos físicos de solos sob plantio direto**. 2009. 187 p. Tese (Doutorado). Passo Fundo: Universidade de Passo Fundo, 2009.

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

MARCOLIN, C.D. **Propriedades físico-hídrico-mecânicas de solos sob plantio direto, na região de Passo Fundo - RS**. Passo Fundo, Universidade de Passo Fundo, 2006. 92p. (Tese de Mestrado).

MARCOS FILHO, J. **Germinação de sementes**. In: ATUALIZAÇÃO EM PRODUÇÃO DE SEMENTES. Campinas: Fundação Cargill, 1986. p.11-39.

- MARCOS FILHO, J. **Fisiologia de plantas cultivadas**. Piracicaba: Fealq, 2005. 495p.
- MAZURANA, M.; LEVIEN, R.; MÜLLER, J.; CONTE, O. Sistemas de preparo de solo: Alterações na estrutura do solo e rendimento das culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 1197-1206, 2011.
- MODOLO, A. J.; FERNANDES, H. C.; NAIME, J. M.; G.R. SCHAEFER,; TERRA S. Avaliação do ambiente solo-semente por meio da tomografia computadorizada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 2, 2008.
- MODOLO, A.J.; FERNANDES, A.C.; SCHAEFER, C.E.G.; SILVEIRA, J.C.M. Efeito da compactação do solo sobre a emergência de plântulas de soja em sistema plantio direto. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.32, n.4, p. 1259-1265, 2008.
- MORAES, G. A. F; MENEZES, N. L.; LEANDRO LOURENÇO PASQUALLI, L. L. Comportamento de sementes de feijão sob diferentes potenciais osmóticos. **Ciência Rural**, vol. 35, n. 4, p. 776-780. 2005.
- MÜLLER, M. D., NOGUEIRA, G. S., CASTRO, C. R. T. D., PACIULLO, D. S. C., ALVES, F. D. F., CASTRO, R. V. O., & FERNANDES, E. N. Economic analysis of an agrosilvipastoral system for a mountainous area in Zona da Mata Mineira, Brazil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, p. 1148-1153. 2011.
- MUNKHOLM, L. J. Soil friability: A review of the concept, assessment and effects of soil properties and management. **Geoderma**, v. 167, p. 236-246, 2011.
- NOGUEIRA, J.B. **Mecânica dos solos**. Ensaios de Laboratório. São Carlos, EESC-USP, 1998, p. 248.
- OBOUR, P. B.; LAMANDÉ, M.; EDWARDS, G.; SØRENSEN, C.; MUNKHOLM, L. Predicting soil workability and fragmentation in tillage: A review. **Soil Use and Management**. 10.1111/sum. 12340, 2017.
- PALMA, M. A. Z. **Desenvolvimento e avaliação de ponteiras utilizadas em hastes sulcadoras de semeadoras para plantio direto**. 2013. 112f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Lavras, 2013.
- PARENTE, H.N.; MAIA, M.O. Impacto do pastejo sobre a compactação dos solos a com ênfase no semiárido. **Revista Trópica**, v.5, n.3, p. 3- 15, 2011.
- PERDOK, U.D.; KOUWENHOVEN, J.K. Soil-tool interactions and field performance of implements. **Soil and Tillage Research**, v. 30, n. 2, p. 283-326, 1994.
- PEREIRA, A.P. Ensaios em viveiro florestal e frutificação de algumas espécies Amazônicas. **Silvicultura em São Paulo**. v. 16A, n. 2 p. 1135-1138, 1982.
- PESKE, S.T.; DELOUCHE, J.C. Semeadura de soja em condições de baixa umidade do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.20, n.1, p.69-85, 1985.

- POPINIGIS, F. **Fisiologia da Semente**. Brasília : Agiplan, 1977, 297p.
- PRADO, R. M.; TORRES, J.L.; ROQUE, C.G.; COAN, O. Sementes de milho sob compressão do solo e profundidade de semeadura: influência no índice de velocidade de emergência. **Scientia Agraria**, v.2, n.1, p. 45-49, 2001.
- RAMBO, L.; COSTA, J. A.; PIRES, J. L. F.; PARCIANELLO, G.; FERREIRA, F. G. Rendimento de grãos da soja em função do arranjo de plantas. **Ciência Rural**, v. 33, n. 3, p. 405-411, 2003.
- RAWLS, W. J.; GISH, T. J.; BRAKENSIEK, D. L. Estimating soil water retention from soil physical properties and characteristics. **Advances in Soil Science**, v.16, p. 213-234, 1991.
- REICHARDT, K. **A água em sistemas agrícolas**. São Paulo, Manole, 1987. 188 p.
- REICHERT, J. M.; REINERT, D. J. & BRAIDA, J. A. Qualidade do solo e sustentabilidade de sistemas agrícolas. **Revista de Ciência Ambiental**, v 27, p. 29- 48, 2003.
- REICHERT, J. M.; SUZUKI, L. E. A. S.; REINERT, D. J. Compactação do solo em sistemas agropecuários e florestais: identificação, efeitos, limites críticos e mitigação. In: CERETTA, C. A.; SILVA, L.S. da; REICHERT, J. M. (Ed.). **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 49-134.
- REICHERT, J.M. SUZUKI, L.E.A.S.; REINERT, D.J.; HORN, R.; HÅKANSSON, I. Reference bulk density and critical degree-of-compactness for no-till crop production in subtropical highly weathered soils. **Soil & Tillage Research**, v.102, n.2, p. 242-254, 2009.
- REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; SILVA, V. R. Propriedades físicas de solos em sistema de plantio direto irrigado. In: Carlesso, R.; Petry, M. T.; Rosa, G. M.; Ceretta, C. A.(ed.). **Irrigação por aspersão no Rio Grande do Sul**. Santa Maria: UFSM, 2001, 165p.
- REINERT, D.J.; REICHERT, J.M. Coluna de areia para medir a retenção de água no solo: protótipos e teste. **Ciência Rural**, v.36, n.6, p. 1931-1935, 2006.
- REIS, E. F.; SHAEFR, C. E. G. R.; FERNANDES, H. C.; NAIME, J. M.; ARAUJO, E. F. Densidade do Solo no Ambiente Solo-Semente e Velocidade de Emergência em Sistema de Semeadura de Milho. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v. 30, p. 777-786, 2006.
- REN, L. Q., TONG, J., LI, J. Q., AND B. C. CHEN. Soil adhesion and biomimetics of soilengaging components: A review. **Journal of Agricultural Engineering Research**, v.79(3) p. 239-263. 2001.
- RENEDO, V.S.G. **Dinámica y mecánica de suelos**. Madrid: Ediciones Agrotécnicas, S.L., 1996. 426p.

RICHART, A.; TAVARES FILHO, J.; BRITO, O.R.; LLANILLO, R.F. & FERREIRA, R. Compactação do solo: Causas e efeitos. **Semina: Ciências Agrárias**, n. 26, p. 321-344, 2005.

ROSS, P.J.; WILLIAMS, J. & BRISTOW, K.L. Equations for extending water-retention curves to dryness. **Soil Science Society of America Journal**, 55: p. 923-927, 1991.

RUIZ, V. H. Incremento da exatidão da análise granulométrica do solo por meio da coleta da suspensão (silte + argila). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, p. 297 - 300, 2005.

SÁ. M. A.C.; SANTOS Jr. J. D. G. **Compactação do solo: consequências para o crescimento vegetal**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados 2005, 26p.

SCALON, S.P.Q.; MUSSURRY, R.M.; RIGONI, M.R. VERALDO, F. Crescimento inicial de mudas de espécies florestais nativas sob diferentes níveis de sombreamento. **Revista Árvore**, v.26, n.1, p. 1-5, 2002.

SCHLOSSER, J. F. Administração de máquinas agrícolas. Santa Maria: Núcleo de Ensaio de Máquinas Agrícolas, Centro de Ciências Rurais, UFSM, 1998. 100p. Série Técnica – Módulo 6.

SCHUCH, L. O. B.; PESKE, S. T. Falhas e duplos na produtividade. **Revista SEED News**, Pelotas, RS, n. 6, nov./dez. 2012.

SECCO, D. **Estados de compactação de dois Latossolos sob plantio direto e suas implicações no comportamento mecânico e na produtividade de culturas**. Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, (Tese de Doutorado). 2003. 108 p.

SILVA, A. J. N. Alterações físicas e químicas de um Argissolo Amarelo sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 10, n. 1, p. 76-83, 2006.

SILVA, A. P.; KAY, B. D.; PERFECT, E. Characterization of the least limiting water range. **Soil Science Society of America Journal**, v. 58, p. 1775-1781, 1994.

SILVA, A.P.; LIBARDI, P.L. & CAMARGO, O.A. Influência da compactação nas propriedades físicas de dois Latossolos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 10: p.91-95, 1986.

SILVA, F.M.; ORTOLANI, F.M.; DANIEL, L.A. Rodas compactadoras de semeadoras-adubadoras: influência no condicionamento físico do solo na região de semeadura. In: Congresso brasileiro de engenharia agrícola, 20., 1991, Londrina. **Anais...** Londrina: SBEA, 1991. p. 1.126-1.146.

SILVA, J. H. **Atributos físico-hídricos de um Plintossolo Háplico sob uma cronosequência de uso agrícola em campo de murundu**. 2011. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Goiás, 2011.

SIQUEIRA, R. **Milho: semeadoras-adubadoras para sistema plantio direto com qualidade**. Instituto Agrônomo do Paraná, Curitiba. 2012.

SIQUEIRA, R.; CASÃO JÚNIOR, R. **Máquinas para manejo de coberturas e semeadura no sistema de plantio direto**. Curitiba: SENAR, 2004.

SOARES, M. M.; SANTOS JUNIOR, H. C.; SIMÕES, M. G.; PAZZIN, D. & SILVA, L. L. Estresse hídrico e salino em sementes de soja classificadas em diferentes tamanhos. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia-GO, v. 45, n. 4, 2015.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO, COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO – RS/SC. **Manual de adubação e de calagem para os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. Porto Alegre: SBCS – Núcleo Regional Sul: UFRGS, 2016. 376 p.

SOLANO, P. J. E. **Retenção de água e pedofundações para solos do Rio Grande do Sul**. 2003. 117 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2003.

SOUZA, G.S. de; SOUZA, Z.M. de; COOPER, M.; TORMENA, C.A. Controlled traffic and soil physical quality of an Oxisol under sugarcane cultivation. **Scientia Agricola**, v.72, p. 270-277, 2015.

STONE, L. F.; GUIMARÃES, C. M.; MOREIRA, J. A. A. Compactação do solo na cultura do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris L.*): I. Efeito nas propriedades físico-hídricas do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 6, n. 2, p. 207-212, 2002.

STRECK, E.V.; KÄMPF, N.; DALMOLIN, R.S.D.; KLAMT, E.; NASCIMENTO, P.C.; GIASSON, E. & PINTO, L.F.S. **Solos do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre, Emater/RS, 3. ed. p. 222 UFRGS: EMATER/RS-ASCAR, Porto Alegre, 2018.

STONE, R.J. & EKWUE, E.I. Maximum bulk density achieved during soil compaction as affected by the incorporation of three organic materials. **Trans. Am. Soc. Agric. Eng.**, 36:1713-1719. 1993.

STÜRMER, S. L. K. **Infiltração de água em Neossolos regolíticos do rebordo do planalto do Rio Grande do Sul**. 2008. 104f. Dissertação (Mestrado em Processos Físicos e Morfogenéticos do Solo) - Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria - RS, 2008

SUZUKI, L.E.A.S.; REICHERT, J.M.; REINERT, D.J.; LIMA, C.L.R. de. Grau de compactação, propriedades físicas e rendimento de culturas em Latossolo e Argissolo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.42, p. 1159-1167, 2007.

TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; BOHNEN, H. & VOLKWEISS, S.J. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. 2.ed. Porto Alegre, Departamento de Solos da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 1995. 174p. (Boletim Técnico de Solos, 5)

TORMENA, C. A.; SILVA, A. P.; LIBARDI, P. L. Caracterização do intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Roxo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, n.22, p. 573-581, 1998.

VAN GENUCHTEN, M.T. van. A closed form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.44, p. 892-898, 1980.

VARGAS, M. **Introdução à Mecânica dos Solos**. São Paulo: Mcgraw-Hill do Brasil, Ed. Da Universidade de São Paulo, 1977.

VASCONCELOS, R. F. B. et al. Estabilidade de agregados de um Latossolo Amarelo distrocoeso de tabuleiro costeiro sob diferentes aportes de resíduos orgânicos da cana-deaçúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, n. 2, p. 309-316, 2010.

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

WEIRICH NETO, P. H. Máquinas agrícolas em Sistema de Semeadura sob a palha (Plantio Direto): Atualização. In: PAULETTI, V.; SEGANFREDO, R. **Plantio Direto: Atualização tecnológica**. Campinas: Fundação Cargill/Fundação ABC, 1999. 171p.

WILCOX, J.R.; FRANKENBERGER, E.M. Indeterminate and determinate soybean responses to planting date. **Agronomy Journal**, v.79, n. 6, p. 1074-1078, 1987.

WUEST, S.B. AND LUTCHER, L.K. Soil Water Potential Requirement for Germination of Winter Wheat. **Soil Science Society of America Journal**, 77: p. 279–283. 2012.

ZERBINATTI, M. T. **Efeitos da compactação do solo devido ao tráfego de máquinas agrícolas**. 2010. Disponível em: <https://agrimanagers.wordpress.com/2010/03/24/efeitos-da-compactacao-do-solo-devido-ao-trafego-de-maquinas-agricolas/> Acesso em: 02/06/2018.



PPGAgro

Programa de Pós-Graduação em Agronomia

Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária - FAMV