

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA
E TECNOLOGIA DO RIO GRANDE DO SUL
CAMPUS IBIRUBÁ**

DOUGLAS MACHADO DEMBOSKI

**AVALIAÇÃO DOS PARÂMETROS FÍSICO-HÍDRICOS DO
SOLO APÓS USO DE DESCOMPACTADOR COMO
INOVAÇÃO TECNOLÓGICA NO MANEJO**

Ibirubá, RS, Brasil

2023

DOUGLAS MACHADO DEMBOSKI

**AVALIAÇÃO DOS PARÂMETROS FÍSICO-HÍDRICOS DO
SOLO APÓS USO DE DESCOMPACTADOR COMO
INOVAÇÃO TECNOLÓGICA NO MANEJO**

Trabalho de Conclusão de Curso II apresentado junto ao curso Bacharelado em Agronomia do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul – Campus Ibirubá, como requisito parcial da obtenção do grau de Engenheiro Agrônomo.

Orientadora: Daniela Batista dos Santos

Coorientadora: Bruna Dalcin Pimenta

Ibirubá, RS, Brasil

2023

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a você, familiar ou amigo que contribuiu na minha caminhada da vida acadêmica. Sem vocês nada disso teria sido possível.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus, pela vida, pela saúde, pela proteção e principalmente pela força que me deu para enfrentar e superar todos os obstáculos que encontro em meu caminho.

Agradeço ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul – Campus Ibirubá pela oportunidade de fazer parte de uma das melhores instituições de nossa região, com um ensino público, gratuito e de qualidade.

Ao meu pai, Gilberto Demboski e minha mãe, Naili Rejane Machado Demboski, por todo o apoio, amor, incentivo e ajuda que me deram durante esta caminhada, somente assim consegui seguir batalhando para alcançar meus objetivos.

À minha namorada Juliana Silva Ribas, por estar sempre comigo me incentivando, me apoiando e confiando em meu potencial, pelo seu companheirismo, carinho e amor que tens comigo.

Um agradecimento especial aos familiares que me ajudaram de alguma forma durante este processo, em especial, Paulo Borges, Mauricio Barcelos e Evanir Pontel.

Um agradecimento especial ao amigo Igor Dilly Martins, pelo companheirismo e camaradagem, pela amizade ao longo destes anos, pelos esforços, trabalhos e principalmente por ter aceitado conduzir este trabalho juntamente comigo.

À professora e orientadora, Daniela Batista dos Santos, que sempre esteve pronta para me ajudar quando precisei, em todos os momentos me auxiliou neste trabalho, na escrita, na correção e na verificação dos dados, e por sempre estar apoiando e passando confiança ao longo de todo este experimento.

À professora coorientadora Bruna Dalcin Pimenta, que também sempre esteve pronta para ajudar quando precisei, cedendo materiais importantes que foram utilizados para que este trabalho pudesse ser concluído.

Aos demais professores da instituição, que sempre se empenharam em passar da melhor forma todos os conteúdos que aprendi nestes longos anos, que com certeza foram importantes para meu crescimento profissional e pessoal, com isso consegui trilhar o caminho correto para atingir meus objetivos com um maior potencial.

EPÍGRAFE

“O impossível não é um fato,
o impossível é uma opinião.”

Muhammad Ali

RESUMO

Trabalho de Conclusão de Curso

Curso de Agronomia

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul – Campus Ibirubá

AVALIAÇÃO DOS PARÂMETROS FÍSICO-HÍDRICOS DO SOLO APÓS USO DE DESCOMPACTADOR COMO INOVAÇÃO TECNOLÓGICA NO MANEJO

AUTOR: DOUGLAS MACHADO DEMBOSKI

ORIENTADORA: DANIELA BATISTA DOS SANTOS

Ibirubá/RS, 23 de janeiro de 2023

O Sistema Plantio Direto é de grande importância para os sistemas agrícolas brasileiros, entretanto em razão do não atendimento às suas premissas, limitações hidro-físico-químicas do solo, em profundidade, têm sido recorrentes. Sabendo disso, busca-se alternativas para manejos de solo que possam descompactar o solo sem imobilizá-lo por completo e, que não compitam pelo uso do solo com a principal cultura econômica (soja) e que contribuam no aumento de sua produtividade. A empresa Agross do Brasil lança no mercado o descompactador rotativo com rolo faca Vollverini, que é um equipamento com tecnologia inovadora, onde seu funcionamento se dá por hastes rotativas que são inseridas no solo de maneira alternada, o que possibilita a manutenção da cobertura vegetal em superfície. O objetivo deste trabalho é avaliar o efeito de manejos do solo (sistema plantio direto (SPD), descompactador rotativo Vollverini e subsolador convencional), após cultura de cobertura do solo e em área de pastagem, sobre as propriedades físico-hídricas do solo. O experimento foi realizado na área didático experimental do IFRS Campus Ibirubá, distribuído sob delineamento de blocos ao acaso, em arranjo fatorial, com três repetições. Os manejos de solo e a semeadura foram realizados dia 3 e 4 de novembro de 2022, respectivamente. Aos 15 dias depois da semeadura, procedeu-se coleta para determinação dos parâmetros físico-hídricos do solo, a saber: densidade do solo, porosidade total, volume de água e resistência a penetração (RP), coletando amostras de solo em 6 profundidades diferentes (0-5, 5-10, 10-15, 15-20, 20-35 e 35-50 cm). Pode-se observar que as causas de variação manejos de solo e profundidade amostrada influenciaram na densidade do solo e na porosidade total, sendo que valores menores de densidade e maiores de porosidade foram observados no manejo com o descompactador rotativo Vollverini. Ainda, referente às profundidades, notou-se, em média, que as alterações físicas do solo puderam ser observadas até 15 cm. Com relação ao manejo de inverno (aveia cobertura x pastagem) percebeu-se maior densidade do solo e menor porosidade total em área manejada sob pastejo bovino. Referente à RP, os manejos de solo com subsolador convencional e descompactador rotativo Vollverini não diferiram estatisticamente, e apresentaram menor RP quando comparados ao SPD. Ainda, a partir de 15 cm de profundidade, a RP passou a ser limítrofe, ou seja, valores superiores à 3 Mpa.

Palavras-chave: densidade; porosidade; descompactador rotativo Vollverini; subsolador;

ABSTRACT

Completion of course work

Agronomy Course

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul - Campus Ibirubá

EVALUATION OF SOIL PHYSICAL-WATER PARAMETERS AFTER THE USE OF A DECOMPACTOR AS A TECHNOLOGICAL INNOVATION IN MANAGEMENT

AUTHOR: DOUGLAS MACHADO DEMBOSKI

ADVISOR: DANIELA BATISTA DOS SANTOS

Ibirubá/RS, January 23, 2023

The no-tillage farming system is very important for Brazilian agricultural systems, however, due to the non-compliance with its premises, hydro-physical-chemical limitations of the soil, in depth, have been recurrent. Aware of this, alternatives are sought for soil management that can decompress the soil without immobilizing it completely, and that do not compete for land use with the main economic crop (soybean) and that contribute to increasing its productivity. The company Agross do Brasil launches to the market the rotary decompactor with Vollverini knife roller, which is an equipment with innovative technology, where its operation is performed by rotating rods that are inserted into the soil alternately, which enables the maintenance of the plant coverage on the surface. This work aims to evaluate the effect of soil management (no-tillage system (NTS), Vollverini rotary decompactor and conventional subsoiler), after soil cover crop culture and in a pasture area, on the soil's physical and water properties. The experiment was conducted in the didactic experimental area of the IFRS Ibirubá Campus, under a randomized block design, in a factorial arrangement, with three repetitions. The soil management and sowing were performed on November 3 and 4, 2022, respectively. At 15 days after sowing, soil samples were collected to determine the physical and water parameters of the soil, which were: soil density, total porosity, water volume, and penetration resistance (PR), collecting soil samples at 6 different depths (0-5, 5-10, 10-15, 15-20, 20-35, and 35-50 cm). It can be observed that the causes of variation in soil management and depth sampled influenced the soil density and total porosity, with lower density and higher porosity values being observed in the management with the Vollverini rotary decompactor. Also, regarding the depths, it was noted, on average, that the physical changes of the soil could be observed up to 15 cm. Regarding the winter management (oat cover x pasture) it was noticed a higher soil density and lower total porosity in the area managed under bovine pasture. Concerning the PR, the soil management with conventional subsoiler and rotary decompactor Vollverini did not differ, and presented lower PR when compared to NTS. Furthermore, after 15 cm of depth, the PR became bordering, in other words, values higher than 3 Mpa.

Keywords: density; porosity; Vollverini rotary decompactor; subsoiler;

SUMÁRIO

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | INTRODUÇÃO | 9 |
| 2 | REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 11 |
| 2.1 | PROPRIEDADES FÍSICAS DO SOLO | 11 |
| 2.1.1 | Textura do solo | 13 |
| 2.1.2 | Características Ambientais | 15 |
| 2.2 | SISTEMA PLANTIO DIRETO | 15 |
| 2.3 | COMPACTAÇÃO DO SOLO | 18 |
| 2.3.1 | Causas da compactação do solo | 19 |
| 2.3.1.1 | <i>Impacto das gotas de chuva</i> | 19 |
| 2.3.1.2 | <i>Operações do preparo do solo</i> | 20 |
| 2.3.1.3 | <i>Tráfego de máquinas agrícolas</i> | 20 |
| 2.3.1.4 | <i>Textura do solo</i> | 21 |
| 2.3.1.5 | <i>Umidade do solo</i> | 21 |
| 2.3.1.6 | <i>Matéria Orgânica</i> | 22 |
| 2.3.1.7 | <i>Densidade do solo</i> | 22 |
| 2.3.1.8 | <i>Porosidade do solo</i> | 23 |
| 2.3.1.9 | <i>Resistência a penetração</i> | 23 |
| 2.3.1.10 | <i>Pastejo de animais</i> | 24 |
| 2.4 | DESCOMPACTAÇÃO DO SOLO..... | 24 |
| 2.5 | DESCOMPACTADOR ROTATIVO VOLLVERINI | 27 |
| 3 | MATERIAL E MÉTODOS | 28 |
| 3.1 | LOCALIZAÇÃO DA ÁREA | 28 |
| 3.2 | MANEJO DO SOLO E CULTURAS | 30 |
| 3.3 | AVALIAÇÕES | 32 |
| 3.4 | ANÁLISE ESTATÍSTICA..... | 39 |
| 4 | RESULTADOS E DISCUSSÕES | 40 |
| 5 | CONCLUSÕES | 47 |
| | REFERÊNCIAS | 48 |
| | ANEXOS | 60 |

1 INTRODUÇÃO

O manejo do solo é um dos fatores mais importantes para uma boa produção, visto que antes da chegada da Revolução Verde se utilizavam técnicas que eram prejudiciais ao solo (aração e gradagem) e que causavam diversos problemas, tais como a erosão, que por muito tempo foi um grande problema para os agricultores do Brasil. Na década de 1980, no que se diz respeito aos sistemas de manejo dos solos, surgiu o Sistema Plantio Direto (SPD), que é um tema genuinamente brasileiro (DENARDIN et al., 2012).

De acordo com os estudos do mesmo autor, este sistema surgiu pela percepção de que a viabilidade do “plantio direto”, de modo contínuo e ininterrupto, nas regiões subtropical e tropical, requer um conjunto de tecnologias ou de preceitos da agricultura conservacionista mais amplo do que simplesmente a redução ou supressão da mobilização do solo e a manutenção dos resíduos culturais na superfície do solo, devendo então, ser entendido e praticado como “sistema de manejo” e não como simples prática ou método alternativo de preparo reduzido do solo.

Segundo Vallin (2021) o SPD consiste em fazer a semeadura sem fazer o preparo do solo, mantendo assim, os resíduos vegetais na superfície, deixando o solo sempre coberto e protegido. O mesmo autor cita também que o SPD envolve três premissas importantes, i) o não revolvimento ou revolvimento mínimo do solo apenas na linha de semeadura, ii) o solo sempre coberto com palhada, iii) a utilização da rotação de culturas, segundo o mesmo autor, esses são os três pilares principais para se manter um SPD. Em 2006 foi feito um levantamento, onde no Brasil o SPD já ultrapassava 25,5 milhões de hectares.

Pesini et al. (2014), levantou estudos em que os locais manejados com o Sistema Plantio Direto (SPD) estão apresentando cada vez mais sintomas de compactação no solo, o que tem como consequência uma diminuição na produtividade das culturas.

Segundo estudos de Horn e Fleige (2003), após o uso do SPD agricultores vem encontrando problemas com compactação do solo, e o principal motivo desse problema é o tráfego de máquinas agrícolas pesadas juntamente com a pressão de insuflação dos pneus feita de forma errônea, e também a forma de como é conduzido o SPD, não fazendo todas as suas práticas. Os estudos de Håkansson (2005) comprovam que estes manejos se forem feitos com o solo acima do ponto de friabilidade e próximo ao limite plástico podem causar maiores danos de compactação ao solo.

De acordo com Queiroz-Voltan et al. (2000) os solos compactados promovem perda de nutrientes nas plantas, uma vez que as raízes das mesmas não conseguem se desenvolver adequadamente, tendo como consequência uma menor absorção de água e nutrientes. É mencionado também que a quantidade de oxigênio pode ser limitante nos processos metabólicos. Håkansson et al. (1998) comprovou com seus estudos que o sistema radicular das plantas quando em solo compactado, tem o desenvolvimento prejudicado, o que é resultante em uma menor absorção de nutrientes e água.

Nos dias atuais, enfrenta-se uma escassez de técnicas para solucionar o problema da compactação nos solos brasileiros. Segundo estudos feitos por Muller et al. (2001) e Abreu et al. (2004) o controle deste problema pode ser feito pela chamada descompactação biológica, que consiste em métodos culturais, como a utilização de culturas com sistema radicular agressivo que promovem uma descompactação do solo sem necessitar do uso de maquinário. Hamilton-Manns et al. (2002) segue outro pensamento, e defende a necessidade do uso de maquinário para realizar o procedimento de descompactação, com o emprego de escarificadores, subsoladores ou sulcadores da semeadora em maior profundidade. Estas técnicas também foram estudadas por Håkansson (2005), Raper (2005) e Rosa et al. (2012), onde obtiveram um resultado de melhor aeração e condutividade hidráulica do solo, melhorando o desenvolvimento das plantas e resultando em uma produtividade maior no solo subsolado em relação ao solo com SPD.

Porém, o uso destes maquinários não pode ser consorciado ao SPD, que tem como principais objetivos, segundo Denardin et al. (2012), a mobilização de solo apenas na linha ou sulco de semeadura; manutenção de resíduos culturais na superfície do solo; diversificação de espécies, via rotação, sucessão e/ou consorciação de culturas. Todavia, com a chegada do novo implemento da empresa Agross do Brasil, o descompactador rotativo Vollverini, a descompactação poderá ser feita sobre os resíduos culturais, mantendo a semeadura direta.

O objetivo deste trabalho é avaliar as alterações nas propriedades físicas do solo em função de manejos de solo diferentes (Sistema Plantio Direto, Subsolador e Descompactador Rotativo Vollverini), onde serão feitas coletas de solo para avaliar a densidade do solo, a porosidade total, o volume de água e a resistência a penetração, e com estes dados foi avaliado o uso do descompactador rotativo Vollverini no Sistema Plantio Direto.

Espera-se que com os resultados do trabalho possa-se comparar os manejos de solos com subsoladores convencionais e com o descompactador rotativo Vollverini, buscando validar o uso do último para o Sistema Plantio Direto.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 PROPRIEDADES FÍSICAS DO SOLO

O solo é um dos recursos naturais mais importantes no meio agrônômico, pois é nele que as culturas se estabelecem, e é nele onde ocorre a semeadura e o cultivo de tudo o que é produzido, sendo, assim, de extrema importância manejá-lo corretamente, sem degradar o mesmo e procurando sempre manter a sua estrutura.

O solo pode ter muitas definições, desde a mais simples até a mais complexa. Alguns autores como Dokuchaev (1883) *apud* Campos (2019) conceituam o solo como corpo natural organizado, que ocupa superfícies específicas no globo terrestre e possui características morfológicas, físicas, químicas e mineralógicas relacionada aos processos e fatores de formação. Tal definição corrobora com os estudos feitos por Streck et al. (2008) que mais recentemente, conceituaram o solo como um recurso natural que sustenta a flora e fauna, a agricultura, a pecuária, o armazenamento de água e as edificações construídas pelo homem. Segundo os estudos realizados, o solo é um componente vital para o agro ecossistema, e nele ocorrem processos e ciclos de transformações físicas, biológicas e químicas, e quando é mal manejado, poderá degradar todo esse agro ecossistema.

Nos estudos feitos por Streck et al. (2008), o mesmo ressalta que na atividade agrícola é de fundamental importância o conhecimento do solo, a fim de obter o máximo proveito deste recurso natural sem degradá-lo. Para ter um uso mais eficiente do solo, é de suma importância que o técnico responsável esteja familiarizado com conceitos básicos do solo e como os mesmos podem ser utilizados de forma mais prática e abrangente.

As propriedades físicas do solo, tais como volume de macroporos, microporos, densidade do solo, que foram analisadas no referente projeto, são de grande importância para que o solo apresente condições favoráveis para o estabelecimento das culturas cultivadas no mesmo. Essas propriedades são alteradas, positiva ou negativamente, conforme o manejo utilizado no solo e o cultivo que nele está estabelecido.

Estudos feitos por Bertol et al. (2004) comprovam o que foi citado, onde no estudo citam que as propriedades físicas do solo estão relacionadas diretamente com o cultivo do solo, e completam citando que tais alterações são mais pronunciadas nos sistemas convencionais de preparo do solo do que nos sistemas conservacionistas, tais alterações como densidade do solo,

volume e distribuição de tamanho dos poros e estabilidade dos agregados são as características que mais demonstram alteração.

Os preparos convencionais fazem o revolvimento do solo promovendo uma descompactação do mesmo e melhorando as propriedades físicas do mesmo, porém o revolvimento em excesso em que o solo é submetido é prejudicial a diversos fatores, como resistência dos agregados, decomposição de matéria orgânica, entre outros, além de que, o solo também ficará descoberto após a realização destes manejos, o que facilita para a ocorrência de erosões, e também facilita para formar novamente uma nova camada compactada com o passar do tempo.

Carpenedo & Mielniczuk (1990) citam que os manejos convencionais do solo provocam um rompimento dos agregados na camada preparada e com isso, provocam uma aceleração na decomposição da matéria orgânica (MO), o que reflete negativamente na resistência dos agregados do solo. Sistemas convencionais, como citado anteriormente, aumentam o volume dos poros na camada preparada segundo Bertol et al. (2000), promovendo a descompactação, facilitando a aeração do solo e garantindo um melhor estabelecimento do sistema radicular das culturas implantadas nesta camada (BRAUNACK & DEXTER, 1989), quando comparado com a semeadura direta e também com o campo nativo. Porém isso ocorre apenas em um primeiro momento, os subsoladores convencionais geram uma desagregação no solo em excesso, o que acarreta em diversas consequências, como a aceleração na decomposição da MO citada anteriormente.

Os preparos conservacionistas do solo, tais como semeadura direta e sistema plantio direto, atuam com um menor revolvimento do solo, tendo como objetivo manter a palhada na superfície do solo e também conservando os níveis de matéria orgânica no solo. Lal & Greenland (1979) citam que tais preparos conseguem manter a cobertura no solo provocando uma manutenção da matéria orgânica, e com isso, corroboram para uma melhor manutenção das propriedades físicas do mesmo. Os manejos deste sistema mostram que com o tempo, o solo que não é revolvido apresenta uma redução no volume dos macroporos presentes no solo, o que eleva a densidade do mesmo (BERTOL et al., 2001), e também promove um aumento na estabilidade dos agregados presentes na superfície (CARPENEDO & MIELNICZUK, 1990; COSTA et al., 2003), o que quando comparado aos sistemas convencionais, tem grande vantagem no quesito de qualidade do solo (D'ANDRÉA et al., 2002).

Porem com o pouco revolvimento do solo, o sistema conservacionista pode, com o tempo, apresentar índices de compactação do solo, o que acontece quando a densidade do solo aumenta em níveis muito altos, e os macroporos presentes no solo ficam abaixo dos 10% (PASINI et al., 2014), o que faz com que a rugosidade superficial do solo diminua, e que o escoamento de água na superfície fique mais presente, isso relacionado a poucas quantidades de cobertura no solo podem provocar a erosão. Apenar disso, Albuquerque et al. (1995), Campos et al. (1995) e Costa (2001) ressaltam que na semeadura direta se tem uma melhor estabilidade dos agregados e continuidade dos poros, o que favorece a infiltração de água no solo, dificultando o escoamento superficial (SCHICK et al., 2000) quando comparamos o preparo conservacionista com o preparo convencional.

Com isso pode-se concluir que as propriedades físicas do solo são alteradas pelo manejo utilizado, seja ele convencional ou conservacionista, em que estudos feitos por Bertol et al. (2004) o manejo conservacionista apresenta a densidade do solo maior nas camadas de 0-10 cm em relação ao manejo convencional, e nas camadas subsuperficiais esta variável apresenta valores maiores no preparo conservacionista que no preparo convencional. Os mesmos autores também mencionam que nesta camada o sistema conservacionista reduz o volume de macroporos, o que reflete na diminuição total dos poros e no aumento de microporos quando comparamos com os sistemas convencionais e com o campo nativo.

2.1.1 Textura do solo

A textura do solo está diretamente ligada as propriedades físicas do mesmo, e é um dos principais parâmetros utilizados para indicar a sua qualidade física, e através de sua determinação é possível tirar algumas conclusões sobre outros parâmetros, além de compreender o comportamento e manejo que se deve adotar a cada tipo de solo.

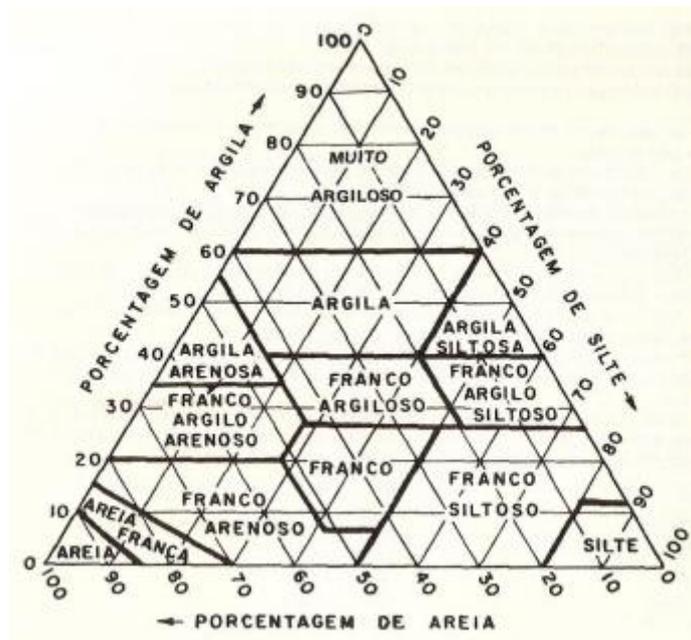
Campos (2019) cita que para esta característica considera-se a proporção das partículas finais, ou seja, menores que 2mm. Sendo essas partículas separadas areia, silte e argila, que apresentam tamanho e sensação tátil característicos de cada uma. Na Tabela 1 pode-se observar o diâmetro e a sensação tátil que cada uma das partículas do solo passa.

Tabela 1 - Tamanho e sensação tátil das partículas que compõem a textura do solo.

| Partícula | Diâmetro (mm) | Sensação tátil |
|-----------|---------------|---|
| Areia | 2 - 0,05 | Aspereza; quando molhada não é plástica e nem pegajosa |
| Silte | 0,05 – 0,002 | Serosidade; quando molhada é ligeiramente plástica e não é pegajosa |
| Argila | < 0,002 | Serosidade; quando molhada é plástica e pegajosa |

Fonte: Campos (2019).

Segundo Campos (2019), pode-se determinar a textura do solo a campo também, utilizando o triângulo textural (Figura 1), o que, por meio do mesmo, consegue-se realizar a determinação aproximada da textura real do solo em que se está trabalhando, não descartando, por fim, uma análise de solo mais detalhada.

Figura 1: Triângulo de classes texturais.

Fonte: Streck et al., 2008.

Tendo a textura do solo, pode-se ter acesso a porosidade do mesmo, que é um espaço entre as partículas sólidas e entre os agregados do solo, correspondendo ao espaço do solo, ocupado pela solução do solo e pelo ar do solo.

A porosidade do solo é identificada pelo tamanho dos mesmos (pequenos, médios, grandes, muito grandes) e também pela quantidade (pouco, comum, muitos) dos macroporos

visíveis. Quando se está a campo, a descrição e análise da porosidade do solo pode ser feita com o auxílio de uma lupa. Os tamanhos das partículas do solo vão desde muito pequenos ($\varnothing < 1\text{mm}$) até muito grandes ($\varnothing > 10\text{mm}$) e a quantidade desde poucos poros até poros comuns.

2.1.2 Características Ambientais

Além das características morfológicas do solo, podem ser determinadas algumas características ambientais presentes do local do perfil do solo (CAMPOS, 2019). Algumas destas características são de muita importância para os estudos realizados nesta pesquisa, como é possível citar, a erosão e a drenagem do solo.

A erosão refere-se à remoção da parte superficial e subsuperficial do solo, principalmente devido à chuva (escoamento de água) e/ou vento. As formas de erosão encontradas são: i) erosão laminar; ii) erosão em sulcos. Os sulcos são classificados quanto à frequência (ocasionais, frequentes, muito frequentes) e quanto a profundidade (superficiais, rasos, profundos). A erosão pode ser dividida em classes, sendo elas: i) não aparente; ii) ligeira; iii) moderada; iv) forte; v) muito forte; vi) extremamente forte (CAMPOS, 2019).

A drenagem se refere a facilidade de remoção do excesso de água do solo, e também é classificada em classes, sendo elas: i) excessivamente drenado; ii) fortemente drenado; iii) acentuadamente drenado; iv) bem drenado; v) moderadamente drenado; vi) imperfeitamente drenado; vii) mal drenado; viii) muito mal drenado (CAMPOS, 2019).

Essas características ambientais como drenagem e erosão tem relação com o manejo utilizado no solo, se o solo for compactado, por exemplo, será mais suscetível a erosão e terá uma drenagem muito baixa.

2.2 SISTEMA PLANTIO DIRETO

O Sistema Plantio Direto (SPD) é uma prática de manejo de solo conservacionista que tem como principais objetivos o não revolvimento do solo, a manutenção da palhada na superfície do solo e também a rotação de culturas, isso tudo para se ter uma manutenção do solo efetiva e diminuir a erosão que é um grande problema no manejo de solo convencional.

O SPD surgiu no Brasil por volta de 1970, nos estados do Paraná e do Rio Grande do Sul, e passou a ser adotado pelos produtores por volta de 1976, onde não demorou muito para serem feitas as primeiras comparações do mesmo com o sistema convencional que tínhamos no país, e nos dias atuais o SPD é adotado na maior parte do Brasil (BOAS & GARCIA, 2007).

Segundo os autores Cassol et al. (2007) o SPD é uma técnica conservacionista que não faz o revolvimento do solo, ou melhor dizendo, faz o revolvimento do solo apenas na linha de semeadura, mantém a cobertura na superfície do solo e pratica a rotação de culturas, para o SPD funcionar todos estes manejos devem ser respeitados. Esta técnica de manejo teve seu reconhecimento no mundo todo, e é uma das mais usadas, teve destaque pois desde que foi implantada demonstrou uma diminuição significativa nos danos ao solo, além de manter a qualidade do solo para as culturas que iriam ser trabalhadas posteriormente, melhorou a estruturação do solo e a fertilidade com a utilização de rotação de culturas e trouxe a possibilidade de utilizar diversas culturas no mesmo local (MOTTER & ALMEIDA, 2015)

Com o uso do SPD ocorreu um aumento na qualidade dos solos de cultivo, o que corroborou para a ampliação de novas áreas de produção. Porém, o não revolvimento do solo trouxe uma modificação física no solo que foi desagradável, a conhecida compactação, que trouxe consequências como diminuição no potencial máximo da produção nos locais compactados, o que atrapalhou o SPD na sua questão sustentável.

Spera et al. (2018), relatam que com a disseminação SPD, a estrutura dos horizontes superficiais do perfil do solo deixou de ser recorrentemente homogeneizada pela aração e gradagem, como ocorria com o plantio convencional. Sendo assim, de acordo com os mesmos autores, o condicionamento do solo capaz de promover o desenvolvimento das plantas, passou a depender da estrutura desenvolvida pela biota do solo, bem como da deposição de fertilizantes junto à linha de semeadura ou nos primeiros centímetros da superfície, decorrentes do manejo do solo e de culturas praticado ao longo das safras agrícolas. Em decorrência, o horizonte superficial do perfil do solo tornou-se a se diferenciar, extinguindo a camada arável e, por consequência, a homogeneidade do solo nela estabelecida pela aração e gradagem (SPERA et al., 2018).

Como explica Nunes (2018), as áreas agrícolas manejadas sob plantio direto, têm apresentado duas camadas de solo distintas: a primeira com profundidade compreendida entre 0 e 7 cm, com condições físicas e químicas favoráveis ao desenvolvimento radicular; e a

segunda, mais profunda, entre 7 e 20 cm de profundidade, com menor permeabilidade do solo ao ar e a água, elevada resistência à penetração e baixa fertilidade química do solo.

Ainda de acordo com Spera et al. (2018), nas lavouras brasileiras com grande extensão de área é cada vez mais comum a aplicação de fertilizantes e corretivos na superfície do solo, sem incorporação, o que resulta em maior concentração, principalmente do fósforo (P) e do potássio (K) na camada de 0 a 5 cm, sendo que esse acúmulo superficial dos nutrientes não estimula o aprofundamento do sistema radicular, restringindo uma distribuição da massa radicular também à camada superficial.

Nesse mesmo sentido, Artuso (2021), em seu trabalho relacionado a “estratificação dos teores de potássio no solo de lavouras sob sistema plantio direto”, discute que os sistemas agrícolas buscam maior rendimento operacional da fertilização, utilizando a aplicação de fertilizantes em superfície, sendo que essa promove a concentração dos elementos nas camadas mais superficiais.

Ferreira et al. (2012), também mencionam que o SPD causa estratificação do carbono (C) no solo, sendo encontrado um conteúdo reduzido nas camadas mais profundas. De acordo com os autores, a camada superficial é a interface vital entre o solo e a atmosfera, a qual recebe grande parte dos fertilizantes e agroquímicos aplicados aos cultivos.

Além disso, Nunes (2018) defende 2 principais hipóteses para a estratificação do solo manejado sob sistema plantio direto: i) a aplicação excessiva de calcário, exclusivamente em superfície, ocasionando a elevação do pH do solo para além do ponto de carga zero do solo na camada de 0 a 7 cm (visto que sua movimentação no perfil é muito lenta - cerca de 2,5 cm em 130 semanas, independente da dose aplicada), elevando o potencial eletronegativo do solo e por consequência, promovendo a dispersão de argila; ii) a migração da argila dispersa no perfil do solo, pela água de percolação, como um fator promotor de degradação física em subsuperfície (diminuição da porosidade total e da continuidade dos poros e o aumento da densidade e da resistência do solo à penetração na camada subsuperficial).

Sendo assim, juntamente com essa estratificação de nutrientes na profundidade do solo, para que haja um pleno desenvolvimento do sistema radicular das plantas é imprescindível que este não se depare com nenhum tipo de limitação física, química ou biológica, sendo que as raízes das plantas têm o seu crescimento afetado na presença de elementos tóxicos (dentre eles, o alumínio tóxico, frequentemente associado a uma camada compactada), sendo está uma das principais limitações, ocasionando estresse nutricional e hídrico nas plantas cultivadas (SPERA

et al., 2018). Os mesmos autores ainda lembram que os principais cultivares de espécies agrônomicas destinadas para produção de grãos possuem ciclos vegetativos cada vez mais curtos e, quando há ocorrência de períodos curtos de estresse hídrico, em fases críticas, é afetado negativamente o rendimento de grãos.

Em anos agrícolas com presença de déficit hídrico, como foi o caso da safra 2021/2022 no Estado do Rio Grande do Sul, esse não aprofundamento do sistema radicular, pelos mais distintos fatores os quais já foram mencionados, tornam evidente e ocasionam ainda mais perdas de produtividade, como discutido por Nunes (2018). Além disso, o mesmo autor defende que a magnitude desse problema se estende a mais de 30 milhões de hectares de lavoura cultivada sob plantio direto no Brasil, colocando em risco as projeções de exuberância da agricultura no país.

De acordo com Marchão et al. (2009), quanto ao pastejo de gado, prática bastante comum nas lavouras da região, principalmente no período do inverno, a integração lavoura-pecuária (ILP) praticada juntamente com o SPD, mesmo sendo práticas mais conservacionistas é evidente ainda a existência de lacunas no conhecimento sobre o impacto no solo e a compactação. Os autores explicam isso devido ao fato de o uso do solo ser intensivo, ocorrendo a compactação, principalmente pelo pisoteio animal, e agravada com a remoção da cobertura vegetal durante o pastejo. Diante disso, é necessário que as práticas (cultivo de grãos e pastejo) ocorram uma sem prejudicar a outra.

O superpastejo associado à compactação do solo, pode ocasionar sérias consequências ao sistema, tais como a redução da infiltração, aumento da erosão e restrições ao crescimento radicular das plantas (MARCHÃO et al., 2009). Além disso, é apontado pelos autores que essa compactação depende de distintos fatores, como o tipo de solo, sua umidade, a taxa de lotação animal e a espécie e massa de forragem.

2.3 COMPACTAÇÃO DO SOLO

Com a chegada do SPD, muitos problemas foram resolvidos, como por exemplo a erosão, que era o grande assombro do sistema convencional devido ao alto teor de revolvimento do solo. O SPD chegou com o objetivo de implantar um sistema que só fazia o revolvimento do solo na linha de semeadura, mantinha a palhada no solo e fizesse a rotação de culturas,

porém muitos fazem esse manejo de forma errônea, o que corrobora para um dos maiores problemas encontrados nos solos brasileiros hoje em dia, a compactação.

Segundo Andreola, Costa e Olszewski (2000), o solo quando em estado natural e sob vegetação nativa, apresenta características físicas apropriadas para o desenvolvimento adequado das plantas e com essas condições a medida em que as raízes conseguem explorar o solo é bastante elevada. Com o uso agrícola, o solo sofre grandes mudanças nas suas propriedades físicas, que na maioria das vezes não são favoráveis para o desenvolvimento das plantas (SPERA et al., 2004).

Alguns atributos do solo são mais utilizados para indicar a qualidade física do mesmo, autores como Topp et al. (1997), Schoenholtz, Van Miegroet e Burger (2000) e Singer e Ewing (2000) citam tais atributos sendo a porosidade total e distribuição dos poros, distribuição do tamanho das partículas, a densidade do solo, a profundidade efetiva de enraizamento, a resistência do solo à penetração das raízes, a estabilidade dos agregados, o índice de compressão e o intervalo hídrico ótimo.

A compactação do solo é um dos principais fatores de degradação dos solos agrícolas segundo estudos feitos por Canillas e Salokhe (2002). Alakukku e Elomen (1994) citam que a produtividade é fortemente afetada pelos níveis de compactação do solo, e que este fator se destaca mundialmente como um dos fatores mais limitantes da mesma.

2.3.1 Causas da compactação do solo

2.3.1.1 Impacto das gotas de chuva

Em solos descobertos, as gotas de chuva têm grande influência na compactação, e é considerada uma fonte natural de compactação do solo. Schaefer et al. (2002) cita que a força do impacto das gotas de chuva na superfície do solo acaba gerando uma quebra dos agregados, o que resulta em um adensamento da camada superficial do solo, o que é chamado de selamento superficial.

A pequena camada compactada formada pelo selamento superficial, apesar de pequena, pode provocar grandes danos ao solo por consequência de ocasionar grandes mudanças na taxa de infiltração de água no solo e também na porcentagem de emergência de

plântulas. Lal (1974) realizou estudos onde pode verificar uma grande redução de 40 e 73% na infiltração de água no solo, em uma área cultivada por milho, e outra preparada e sem cobertura, respectivamente, comparando-as com uma área sob floresta. Este resultado se obteve pelo selamento superficial ocorrido pela energia cinética das gotas de chuva.

2.3.1.2 Operações do preparo do solo

Larson e Gill (1973) afirmam em seus estudos que o preparo do solo é de suma importância para se obter boas condições, favorecendo a germinação de sementes e o crescimento e desenvolvimento das plantas, também facilitam a entrada de água e ar no solo e ajudam, em alguns casos, no manejo de resíduos culturais.

Porém, Bertol (1995) cita em seus estudos que as operações de preparo do solo também podem ser prejudiciais, ocasionando uma redução na rugosidade do solo, facilitando uma erosão hídrica (HERNANI et al., 1997), também pode causar camadas compactadas na superfície do solo, causando uma limitação no crescimento de raízes, o que corrobora para um menor desenvolvimento e produção das culturas ali estabelecidas (SILVA et al., 2000a)

2.3.1.3 Tráfego de máquinas agrícolas

O tráfego de máquinas é uma das principais, se não a principal causa da compactação. Com as tecnologias de hoje em dia, os maquinários estão cada vez mais equipados para melhor auxiliar os produtores, porém o tamanho e peso em excesso dessas máquinas, aliados com as larguras de pneus que não fazem uma boa distribuição de tal peso, podem ocasionar um aumento na compactação do solo, alterando as propriedades físicas e diminuindo as qualidades do solo.

Jorge (1986), Novak et al. (1992), Miranda (2001) e Castro Neto (2001) realizaram estudos onde comprovam que efeitos do tráfego contínuo e inadequado de máquinas agrícolas causam alterações diretas nos atributos físicos e mecânicos dos solos. À medida que cargas são aplicadas no solo pelos rodados dos maquinários agrícolas, são produzidas tensões em sua interface com relação solo/pneu e solo/implemento em superfície e em profundidade respectivamente. Segundo Horn e Lebert (1994) essas tensões geram compactação em diferentes camadas do solo, o que complementa estudos feitos por Horn (1988), onde o mesmo

diz que se estas tensões dinâmicas excederem a resistência interna do solo, a compactação pode atingir as camadas mais profundas do solo, alterando suas propriedades físicas.

Quando a estrutura do solo e suas propriedades físicas são alteradas, alguns fatores são comprometidos, tais como declínio da disponibilidade de água e nutrientes, e como consequência, a produtividade nesta área acaba caindo também (WIERMANN et al., 1999, 2000)

2.3.1.4 Textura do solo

A textura do solo tem um papel de suma importância quando falamos de compactação. Quando ocorre a compactação do solo, seja ela por máquinas agrícolas ou por pisoteio ou transporte de animais, as partículas do solo se arranjam e/ou acomodam de uma forma mais adensada, o que acaba gerando uma diminuição do espaço aéreo do solo, ou seja, diminuindo os macroporos presentes no mesmo, aumentando a densidade e resistência a penetração e consequentemente, a compactação também (SOANE, 1986; HORN E LEBERT, 1994)

Segundo Seybold et al. (1999) a textura e a mineralogia têm relação direta com a resistência e a resiliência do solo a determinada prática agrícola. Mc Bride e Watson (1990) completam dizendo que o teor e o tipo de argila presente no solo também afetam o funcionamento compressivo do mesmo, assim determinando a profundidade em que a compactação irá atingir e a sua persistência. Com isso pode-se citar os resultados obtidos por Horn (1998), em que o mesmo afirma que quanto maior o teor de argila, maior será a profundidade a qual a pressão irá ser transmitida e maior a espessura da camada compactada.

2.3.1.5 Umidade do solo

A umidade do solo é o fator regulador da quantidade de deformação que o solo irá sofrer quando for manejado (DIAS JUNIOR, 1994). O solo possui um ponto de umidade ideal para o manejo, onde é chamado de ponto de friabilidade. Estudos realizados por Swan et al. (1987) mostram resultados onde o solo seco consegue aguentar pressões maiores sem sofrer muita compactação, porém o esforço para realizar o manejo do mesmo pode ser maior. Porém em condições onde a umidade do solo está elevada, o solo se deforma mais facilmente, não

aguentando pressões altas, ocorrendo assim a deformação do mesmo, alterando as propriedades físicas e ocorrendo a compactação.

2.3.1.6 *Matéria Orgânica*

Assouline, Tavares Filho e Tessier (1997) e Dias Junior et al., (1999) explicam que a quantidade de matéria orgânica (M.O.) presente no solo é um dos fatores que são responsáveis por ajudar na manutenção das condições físicas do mesmo, e também auxilia na resposta a compactação. O uso de cobertura de solo e/ou fertilizantes orgânicos que promovam o aumento da M.O. do solo ajudam na prevenção da compactação, seja aumentando a quantidade de M.O. presente no solo quanto protegendo a camada superficial do contato direto com fatores adversos e de manejo do solo, e por isso são fatores importantes citados por Camargo e Alleoni (1997).

2.3.1.7 *Densidade do solo*

A densidade do solo está diretamente ligada as propriedades físicas do mesmo, pode-se dizer que, quanto menos macroporos e mais microporos o solo tiver, mais denso ele é. Camadas mais densas na parte superficial e subsuperficial do solo são comuns em solos cultivados de forma intensiva, porem valores de densidade mais elevados são prejudiciais a diversos fatores como, aeração, infiltração da água, penetração e estabelecimento das raízes. Segundo Curtis e Post (1964) a densidade do solo varia de acordo com a textura e teor de M.O. do mesmo.

Quando falamos de valores de densidade, não é constatado um consenso entre os autores sobre um nível crítico da densidade do solo. Torres e Saraiva (1999) promoveram estudos onde a densidade variou conforme as características texturais do solo, onde solos argilosos as densidades variaram de 1,0 a 1,43 Mg m⁻³, para condições de mata e áreas muito compactadas respectivamente, e para solos com textura arenosa, os valores de densidade variaram de 1,25 a 1,70 Mg m⁻³ respectivamente. Camargo e Alleoni (1997) passam a considerar crítico o valor de 1,55 Mg m⁻³ para solos com textura franco-argilosa. Já De Maria, Castro e Dias (1999) obtiveram resultados onde afirmam que os valores acima de 1,2 Mg m⁻³ são desfavoráveis para o desenvolvimento de raízes, quando se trata de Latossolo Roxo.

De Jong-Hughes et al. (2001) realizou estudos onde obteve resultados em que o solo ligeiramente adensado gerou uma maior taxa de germinação de sementes, devido ao fato de

promover um maior contato de solo/semente. Também pode-se citar que, solo ligeiramente compactados tendem a promover uma leve redução na perda de água no solo por evaporação, impedindo que o solo em que a semente se estabelece fique seco rapidamente.

2.3.1.8 Porosidade do solo

A compactação no solo está inteiramente ligada com alterações na porosidade do mesmo. Novak et al. (1992), Taylor e Brar (1991) e Hillel (1982) realizaram pesquisas por diversas regiões, onde concluíram que a quantidade de macroporos do solo sofrem reduções significativas em decorrência da compactação, o que diminui a porosidade presente no solo, a continuidade do número de poros e a difusão de gases.

Hatano et al. (1988) cita que a porosidade presente no solo tem uma relação direta com o crescimento e estabelecimento das raízes no solo. Completando tal raciocínio, Vomocil e Flocker (1966) citam que uma macroporosidade mínima de $0.10 \text{ m}^{-3} \text{ m}^{-3}$ é necessária para um desenvolvimento e crescimento satisfatório das plantas.

Poros que são formados através da ação das raízes no solo tendem a ser mais estáveis, isso acontece pois materiais cimentantes são gerados pela decomposição dos microrganismos ali presentes, tais materiais esses que atuam como cimentantes nas paredes dos poros, proporcionando uma melhor durabilidade e rigidez quando comparados aos poros formados por implementos mecânicos (ABREU, 2000).

2.3.1.9 Resistência a penetração

O estabelecimento das culturas no solo está diretamente ligado à resistência à penetração presente no mesmo, sendo que, quanto maior for a resistência a penetração do solo, mais difícil será de a cultura ali estabelecida desenvolver suas raízes. A resistência a penetração pode variar conforme o tipo de solo e também com a espécie cultivada na área, e na maioria das vezes a maior causa da resistência a penetração no solo é o tráfego de maquinário agrícola em excesso. A densidade do solo e o conteúdo de água no mesmo estão diretamente ligados a resistência a penetração, visto que, quanto mais denso e mais seco o solo for, maior será a resistência a penetração. Segundo Borges et al. (1988) a densidade do solo tem uma relação direta com a

resistência, e para completar, Tormena et al., (1988) citam que o conteúdo de água no solo influencia negativamente a resistência.

O crescimento e estabelecimento de raízes tem uma estreita relação com a porosidade do solo, dito que, há um maior crescimento de raízes onde há um maior número e continuidade de macroporos. Com isso pode-se dizer que, o aumento da resistência mecânica do solo tende a causar efeitos prejudiciais ao crescimento e estabelecimento do sistema radicular das plantas (HATANO et al., 1988)

Estudos feitos por Hakansson e Medvedev (1995) vão de encontro com os resultados obtidos por Silva et al., (2000a) onde mostram que as áreas em que o SPD era utilizado e tinha um menor revolvimento do solo, tinha valores de densidade do solo mais elevado, o que provocava uma maior resistência do solo a penetração.

Em relação aos níveis críticos para a resistência a penetração, a literatura abrange vários níveis, dito isso, muitos pesquisadores utilizam o valor de 2,0 Mpa como limite crítico da resistência a penetração (TAYLOR et al. 1966).

2.3.1.10 Pastejo de animais

Segundo Marchão et al. (2007) a compactação do solo pelo pisoteio animal é agravada pela remoção da palhada superficial causada pelo pastejo, onde que, pode diminuir a taxa de infiltração, aumentar a erosão devido a escoamentos e reduzir o crescimento radicular das plantas. Com o superpastejo tem-se consequências para o solo, como a perda da cobertura vegetal, devido ao impacto do pisoteio excessivo sob altas taxas de lotação, que pode acarretar na compactação. É importante frisar que, essa compactação irá depender de alguns fatores como: classe de solo; taxa de lotação animal; teor de umidade do solo; massa de forragem; espécie forrageira utilizada;

2.4 DESCOMPACTAÇÃO DO SOLO

Para amenizar os problemas da compactação, pode-se utilizar duas alternativas, sendo elas a descompactação biológica, que consiste na utilização de culturas com um sistema radicular agressivo, como é o caso do nabo forrageiro, ou então a descompactação mecânica,

que é feita com escarificadores e subsoladores. O uso de escarificadores e subsoladores na descompactação traz resultados imediatos, tendo o rompimento da camada compactada, e com isso obtendo um aumento na porosidade total do solo e uma redução da densidade do mesmo. Entretanto, a prática deste método de descompactação vai contra os fundamentos do SPD, que prioriza em sua maior parte o mínimo de revolvimento do solo possível.

Segundo Defra (2005) a grande presença de camadas compactadas nos solos onde o sistema plantio direto está implantado, tem feito com que os produtores buscassem alternativas para amenizar os problemas causados pela mesma, de modo a fugir um pouco dos fundamentos do SPD. Spoor (2006) e Jin et al. (2007) citam que, para amenizar a compactação presente, o método mais utilizado tem sido a escarificação mecânica do solo, a qual segundo Ortiz-Cañavate (1995) rompe as camadas do solo nas zonas de maior friabilidade, sem causar danos excessivos para a sua estrutura, gerando assim um rompimento da camada superficial cimentada e também da camada subsuperficial compactada, possibilitando uma melhor distribuição dos poros, aumentando a porosidade total, a infiltração de água, a rugosidade e diminuindo a densidade do solo.

Collares et al. (2008) observou que, dois meses após a escarificação feita em um Latossolo Vermelho, ainda podiam ser observados valores de diminuição da compactação, e reiterou que, a resistência do solo a penetração mecânica foi um dos parâmetros que mais sofreram alteração, diminuindo drasticamente. Estudos feitos por Câmara e Klein (2005) mostram resultados que, mesmo após seis meses da realização da escarificação mecânica, ainda era possível observar uma redução na densidade do solo e um aumento da rugosidade superficial, da condutividade hidráulica e também da taxa de água que infiltrava no solo. Com isso, os autores puderam concluir que a escarificação mecânica tem grande eficácia em melhorar as características de um solo compactado, diminuindo a sua resistência a penetração e sua densidade total, e aumentando sua porosidade e infiltração de água.

Entretanto, Chamen (2015) ressalta que a escarificação não deve ser feita a todo momento, e deve ser usada somente quando realmente é necessário, quando os níveis de compactação no solo forem um limitante para o desenvolvimento e estabelecimento das plantas ali cultivadas, ou quando se deseja prevenir a compactação, para que a mesma não atinja níveis que limitem a produtividade das plantas presentes no solo. Chamen (2015) também ressalta que a escarificação mecânica é um manejo de alto custo, que demanda uma grande quantidade de consumo energético, investimento em equipamentos e tem a necessidade de mudanças no sistema de cultivo, Manuwa (2009) complementa citando que os custos aumentam com a

profundidade da camada compactada, o que vai de encontro com o que falam Cookson et al. (2008) onde citam que os benefícios dependem da textura do solo, profundidade e frequência da operação.

Falando um pouco sobre o rendimento das culturas, Veiga et al. (2008) citam que nem sempre isso é verificado. Trabalhos foram realizados com a cultura do feijão (COLLARES et al., 2006), com a cultura da soja (CAMARA E KLEIN, 2005; KLEIN E CAMARA, 2007; DRESCHER et al., 2012), e também com a cultura do milho (MAHL et al., 2008; GUBIANI et al., 2013; NUNES et al., 2014) onde se teve um indicativo de que o crescimento radicular e o rendimento não obtiveram maiores resultados em SPD escarificado do que no SPD contínuo, onde Olesen e Munkholm (2007) inclusive, obtiveram resultados negativos após feito o manejo com a escarificação mecânica.

Em SPD contínuo, Ferreras et al. (2001) obtiveram resultados 47,88% inferior ao SPD escarificado, o que se deve aos altos níveis de compactação dos solos do SPD avaliado provavelmente, onde o sistema radicular das culturas foi reduzido devido ao aumento da resistência a penetração. Secco e Reinert (1997) também obtiveram resultados positivos em solos escarificados quando comparados com o SPD contínuo, porém trabalhando com a cultura do milho. Com isso conclui-se que os trabalhos apresentados na literatura divergem sobre os resultados de rendimento quando comparamos a escarificação do solo em relação ao SPD contínuo, o que carece de mais estudos para se obter maiores informações sobre a real necessidade de escarificação dos solos em SPD.

Canarache et al. (2000) ressalta que o uso demasiado ou corriqueiro da escarificação mecânica pode trazer malefícios para as propriedades físicas do solo, fazendo com que os agregados fiquem menos estáveis, ocorrendo uma maior suscetibilidade a uma subsequente compactação ainda mais intensa do que a passada.

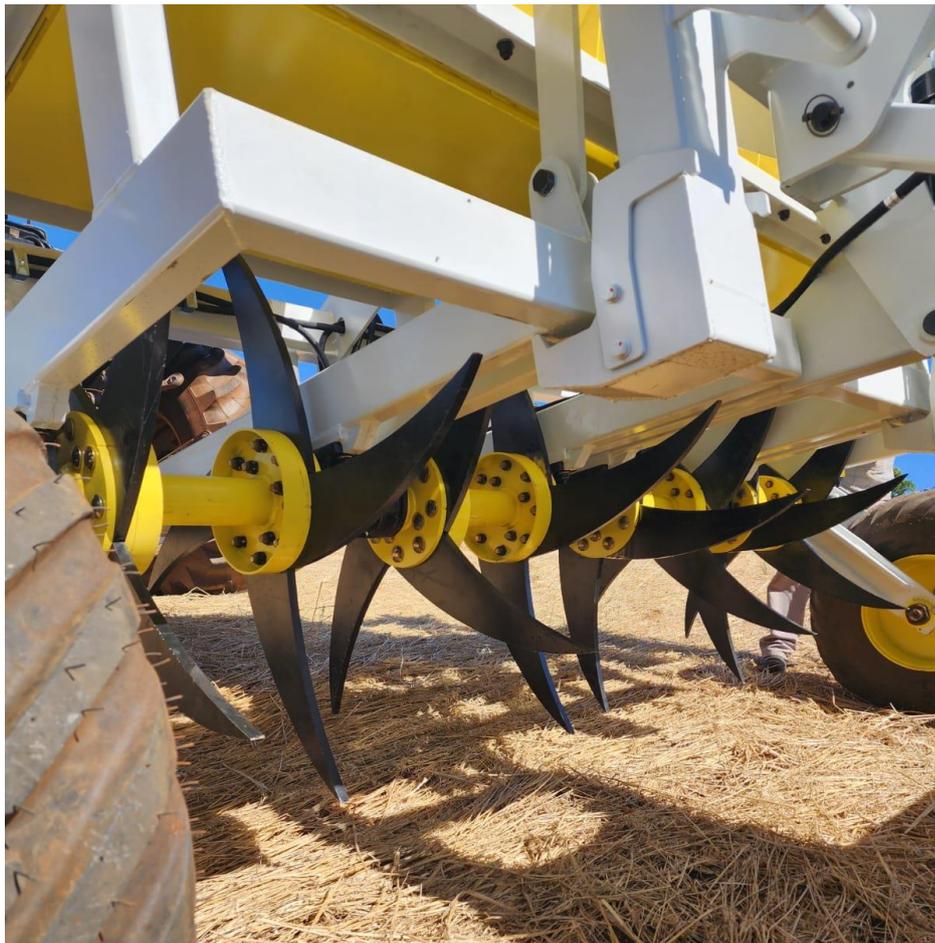
Drescher (2015) ressalta que a escarificação mecânica do solo deve ser usada somente quando é necessário, uma vez que se trata de uma operação de alto custo, devido ao consumo energético, investimento em equipamentos, etc., que se multiplicam com o aumento da profundidade operacional. Além disso, a mobilização frequente do solo para manutenção de efeitos benéficos da escarificação propicia aumento dos riscos de compactação do solo em profundidade e pode sujeitar o solo a uma subsequente compactação mais intensa.

2.5 DESCOMPACTADOR ROTATIVO VOLLVERINI

A empresa Agross do Brasil, juntamente com o inventor e empreendedor Lauro Fassini, desenvolveram um novo implemento que será usado na descompactação do solo, o chamado Descompactador Rotativo Vollverini.

O Vollverini tem como características estruturais, um chassi tubular, rodados laterais para transporte e regulagem de profundidade, dois cilindros hidráulicos de levante do equipamento, dois eixos contendo neles 32 garras curvadas, desencontradas e parafusadas no eixo central, com penetração no solo de até 45 cm (Figura 2), que farão a descompactação, duas caixas de reservatório de água servindo para dar peso extra ao implemento e um rolo faca traseiro oscilante, para a quebra de torrões, derrubada da palhada, bem como nivelamento do terreno. As informações citadas acima foram fornecidas pela empresa Agross do Brasil (2022).

Figura 2: Garras curvadas Vollverini



Fonte: Demboski, 2022

Algumas das características técnicas do implemento são a largura total de 3,9 metros, largura de trabalho de 3 metros, altura de deslocamento de 2,5 metros, comprimento de 5 metros, potência requerida de 15 a 20 cv por linha de haste (dependendo do lastro do trator), pneus de alta flutuação, profundidade de trabalho de 40 a 45 cm, tendo 8 linhas com 4 hastes por linha, totalizando 32 hastes com espaçamento de 34 cm, trabalhando em uma velocidade de de 5 a 7 km/h.

O Vollverini tem como proposta trazer uma melhora na infiltração de água no solo, produzindo em torno de seis fendas por metro quadrado, produzindo assim um sistema que permite uma absorção quase que imediata de água. Outro ponto proposto é a descompactação do solo, onde está ligado a movimentação vertical do terreno, ao sair do solo as hastes provocam um soerguimento da camada intermediária entre as fendas, provocando o rompimento do terreno, criando trincos nesses espaços, contribuindo para a descompactação total da área. Apesar das fendas atingirem uma profundidade de mais de 40 cm, como a remoção do solo é equilibrada, com a abertura de sulcos, esse sistema consegue manter o nivelamento do terreno e a estrutura do solo.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA

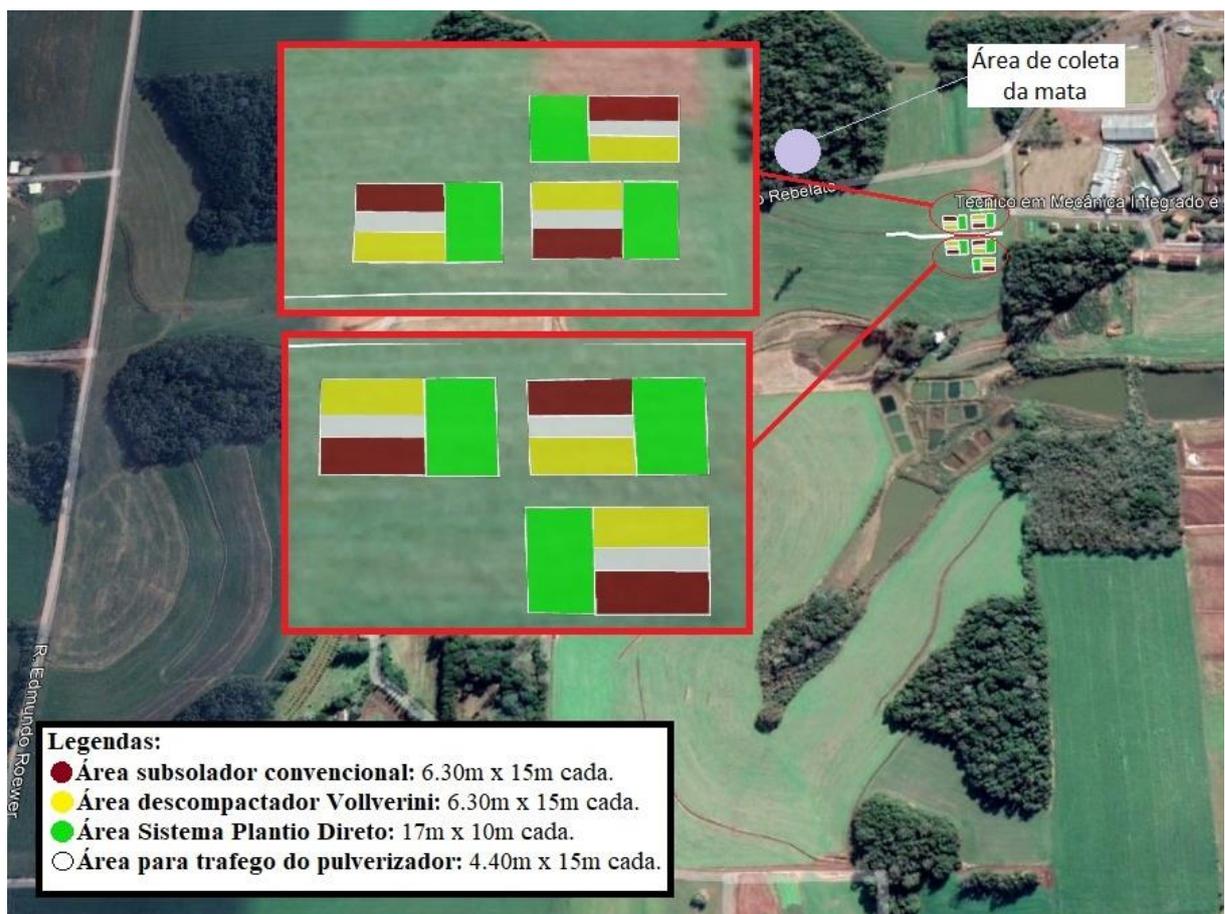
O experimento foi realizado na área didática e experimental do Instituto Federal de Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul, no Campus Ibirubá., situado na região fisiográfica do Planalto Médio, Rio Grande do Sul, com clima Cfa (subtropical úmido) (MORENO, 1961). O solo é classificado como Latossolo Vermelho Distroférrico típico (EMBRAPA, 2006), a área está localizada a 440m acima do nível do mar a uma latitude sul de 28° 39' 02'' e longitude oeste de 53° 06' 23''. A área agrícola que foi utilizada para instalação do experimento é cultivada sob plantio direto nos últimos anos.

Foram coletadas amostras de solo da mata, para se ter características do mesmo, sem alterações de manejos de solo, onde obteve-se valores médios de RP de 2142 kPa, densidade do solo de 0,993 g.cm⁻³, porosidade total de 0,625 cm⁻³.cm⁻³, macroporos de 0,25 cm⁻³.cm⁻³ e microporos de 0,14 cm⁻³.cm⁻³.

O experimento foi distribuído sob delineamento de blocos ao acaso, em arranjo fatorial, com três repetições. Para avaliação das características físicas do solo, o esquema fatorial foi composto por dois manejos de culturas de inverno (aveia para cobertura (áreas superiores) e aveia pastejada (áreas inferiores) alocadas numa mesma topossequência) x 3 manejos de solo (subsolador, descompactador rotativo Vollverini e sistema plantio direto como testemunha) x 6 profundidades de solo amostradas (0-5 cm, 5-10 cm, 10-15 cm, 15-20 cm, 20-35 cm e 35-50 cm).

A área pastejada foi dividida em 3 piquetes, onde um dos piquetes ocupava a área em que foi feito o experimento, os bovinos de leite ficaram do mês de maio até agosto de 2022, onde rotacionaram ficando 30 dias em cada um dos piquetes, ao total eram 6 animais com média de 900kg, totalizando 12 unidades de peso animal. Na Figura 3 observa-se o croqui da área do experimento, o tamanho e o que foi feito em cada área na legenda.

Figura 3: Croqui da área experimental.



Fonte: Demboski, 2022

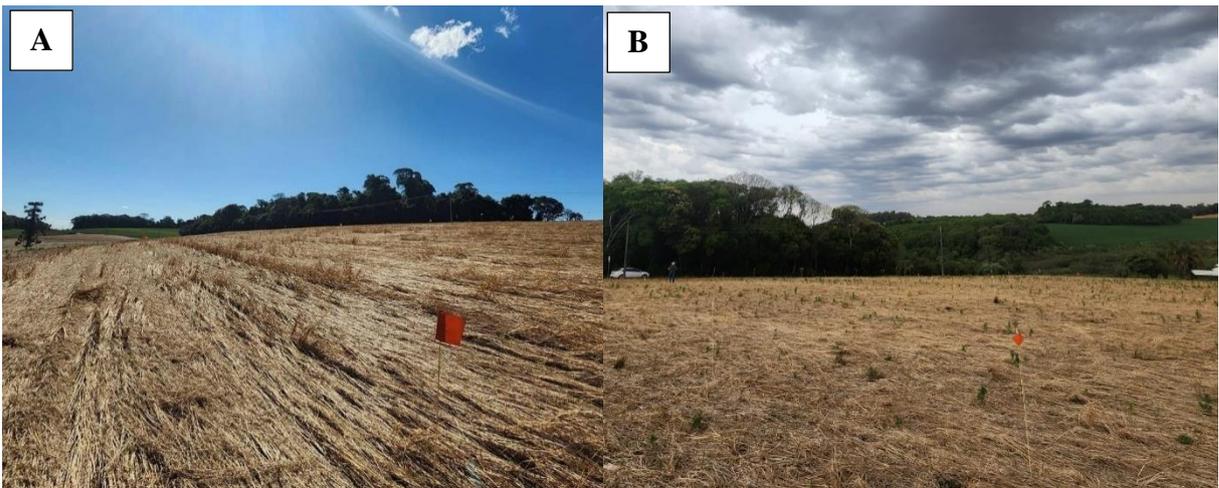
3.2 MANEJO DO SOLO E CULTURAS

Sobre os manejos e tratamentos que foram estudados, anterior à cultura da soja e aos manejos de solo, a cultura semeada foi a aveia-preta. Esta, foi dividida em 2 áreas:

- Uma área destinada à cobertura do solo (Figura 4A);
- Uma área destinada ao pastejo animal de bovinos de leite (Figura 4B);

A semeadura de aveia-preta ocorreu com semeadora direta, sendo que, a cultivar utilizada foi a Embrapa 139, na quantidade de 75 kg/ha e sem adubação. Trinta dias antes da data prevista para a semeadura da cultura da soja, ambas as áreas foram pulverizadas com herbicida.

Figura 4: Área destinada a cobertura (A) x Área destinada a pastagem (B)



Fonte: Demboski, 2022

No dia 3 de novembro de 2022 foram feitos os manejos de solo em ambas as áreas (cobertura do solo e pastejo animal) como mostra as Figuras 5A e 5B. O solo recebeu os tratamentos com descompactador rotativo Vollverini e subsolador convencional.

Figura 5: Manejo de solo com subsolador (A) e descompactador rotativo Vollverini (B)



Fonte: Santos, 2022

O subsolador convencional utilizado foi o da instituição, que possui 7 hastes espaçadas com 0,5 metros entre si, como pode-se observar na figura 6.

Figura 6: Subsolador convencional usado no experimento



Fonte: Demboski, 2022

O tratamento sistema plantio direto não recebeu intervenção, somente no momento da semeadura. Assim, dia 4 de novembro de 2022 foi realizada a semeadura direta da cultura da soja em todas as parcelas (Figura 7A). A semeadura foi realizada com uma semeadora adubadora pneumática à vácuo da marca Vence Tudo, modelo Panther SM 7000 (Figura 7B),

a semeadura ocorreu de forma normal sobre todas as parcelas, onde não foi buscado semear nas linhas de trabalho dos implementos utilizados para que não houvesse nenhuma interferência nos resultados obtidos, a cultivar utilizada foi a NA 5909 RG, com uma densidade de 16,3 sementes/metro, tendo adubação de 330 kg/ha na formulação de 5-20-20, seguindo as recomendações técnicas da cultura.

Figura 7: Semeadura da soja (A) e semeadora Panther 7000 (B)

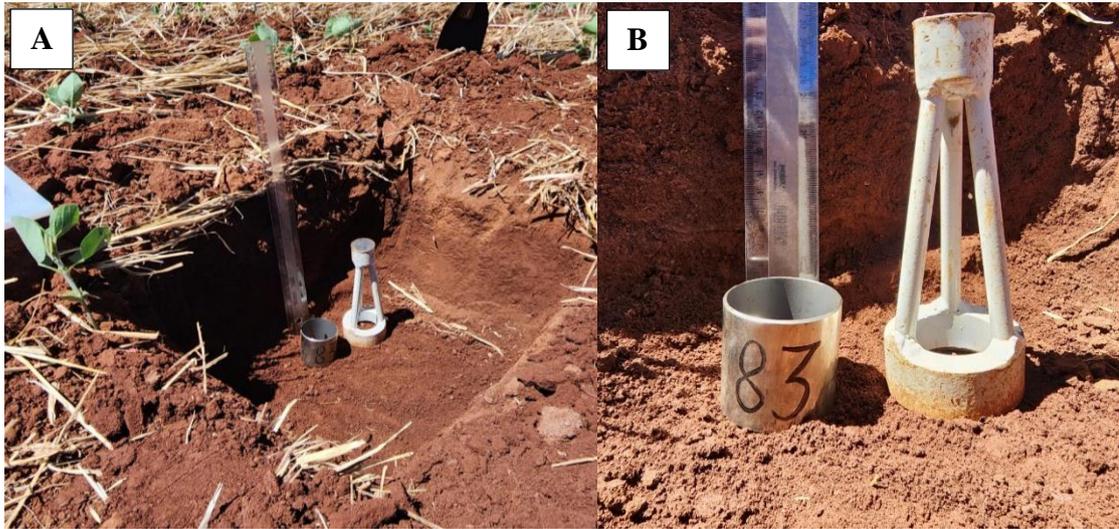


Fonte: Agross do Brasil; Demboski, 2022

3.3 AVALIAÇÕES

Quanto às avaliações, quinze dias após a implantação da cultura da soja, foram avaliados os parâmetros físico-hídricos do solo. Em relação à coleta de amostra indeformada de solo, em cada unidade experimental foram coletadas 6 amostras representativas das profundidades de 0-5 cm, 5-10 cm, 10-15 cm, 15-20 cm, 20-35 cm e 35-50 cm. A coleta foi feita a partir da abertura de uma trincheira e uso de anéis volumétricos (de 5 cm de altura x 5 cm de diâmetro) e auxílio trado-castelinho, buscando evitar a deformidade das amostras, como mostra as Figuras 8A e 8B. Nas profundidades 20-35 cm e 35-50 cm foi coletado o centro da camada 25-30 cm e 40-45 cm, respectivamente.

Figura 8: Trincheira para coleta (A), anel volumétrico e trado-castelinho (branco) (B)



Fonte: Demboski, 2022

Inicialmente, todos os anéis volumétricos tiveram sua massa e volume quantificados com o auxílio de um paquímetro digital. Depois de coletadas, as amostras foram saturadas em uma bandeja, como mostra a Figura 9, onde ficaram por 24 horas até saturarem completamente. Se passadas as 24 horas as amostras ainda não estivessem saturadas, eram deixadas na bandeja até que fosse feita a visualização das mesmas saturadas.

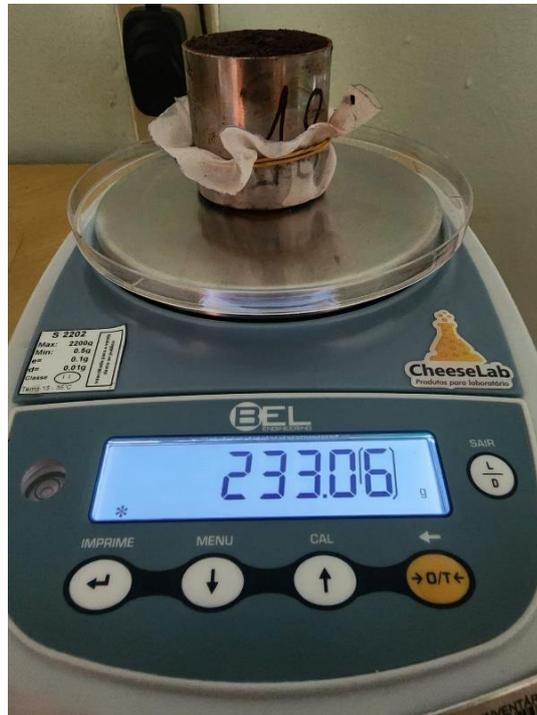
Figura 9: Amostras saturando em bandeja



Fonte: Demboski, 2022

Após saturadas as amostras tiveram a massa quantificada em uma balança de precisão como mostra a Figura 10, posteriormente de quantificar todos os valores, os mesmos foram passados para o software Excel.

Figura 10: Amostras pesadas em balança de precisão



Fonte: Demboski, 2022

A capacidade de campo (CC) do solo, de acordo com sua definição clássica, é a quantidade de água retida pelo solo depois que o excesso de água foi drenado e a taxa de movimento descendente da água foi decrescido acentuadamente, o que, geralmente, ocorre dentro de 2 ou 3 dias após uma chuva ou irrigação no solo permeável de estrutura e textura uniforme” (Veihmeyer & Hendrickson, 1949).

Alguns equipamentos como câmaras de pressão com placa porosa (RICHARDS, 1949) e os funis de placa porosa (HAINES, 1930) são equipamentos utilizados para medição da curva de retenção de água no solo, porém são equipamentos com um alto custo de aquisição. A mesa de tensão é utilizada para determinar a CC do solo, exclusivamente em baixas tensões, onde que, este equipamento possui como vantagens um baixo custo, fácil utilização e flexibilidade na construção (REINERT & REICHERT, 2006).

As amostras foram submetidas à determinação da retenção de água na mesa de tensão, como mostrado na Figura 11A e 11B, onde permaneceram até que a mesma parasse de drenar.

Quando a drenagem cessava, era o indicativo que as amostras da mesa tinham atingido a tensão de 10 kPa, indicadora da CC do solo, e após isso tiveram a massa quantificada novamente.

Figura 11: Mesa de tensão (A) e amostras de solo drenando (B)



Fonte: Demboski, 2022

Após a saída da mesa de tensão as amostras foram para a estufa, como mostra a Figura 12, onde permaneceram por 24 horas a temperatura de 105 °C. Passado as 24 horas, as amostras tiveram a massa quantificada e foram pesadas novamente. O volume de água retido a 1500 kPa (indicativo do ponto de murcha permanente) foi estimado a partir da equação descrita por Klein et. al. (2010), sendo considerado o teor de argila de 56% nas camadas de 0-5 e 5-10 cm, 65% de 10-15 e 15-20 cm e 75% de 20-35 e 35-50 cm de profundidade, de acordo com análise de solo realizada na área (Anexo I).

Equação de Klein et al. (2010)

$$PMP = 0,0003 * Argila + 0,0118$$

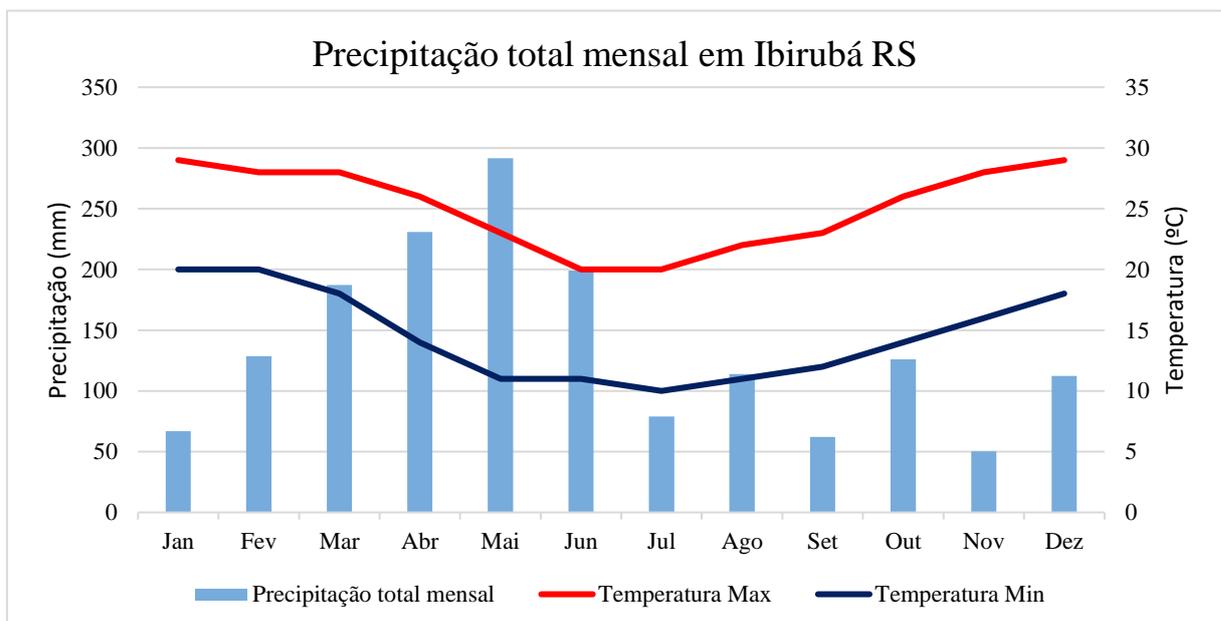
PMP= Ponto de murcha permanente (g.g¹)

Argila= teor de argila presente no solo (g.kg¹)

Figura 12: Amostras na estufa

Fonte: Demboski, 2022

O valor de PMP do solo nas profundidades de 0-5 e 5-10 cm, de 10-15 e 15-20 cm e 20-35 e 35-50 cm ficou em 18%, 21% e 24%, respectivamente. Isso deve-se ao fato da falta de chuva a partir do mês de julho, onde nos meses de outubro, novembro e dezembro, que são os meses onde o experimento ocorreu, terem precipitações mensais de 126, 50,2 e 112,2 mm respectivamente, juntamente com altas temperaturas, como pode-se observar os dados do INMET (2022) na Figura 13.

Figura 13: Gráfico de precipitação total mensal na cidade de Ibirubá RS

Fonte: INMET, 2022

Para a determinação da densidade do solo, porosidade total, volume de macro, micro e criptoporos foram seguidas as equações de Embrapa (1997), como pode-se observar abaixo:

Densidade do solo:

$$D_s = \frac{M_{ss}}{V_{Cil}}$$

D_s = Densidade do solo (g.cm^{-3})

M_{ss} = Massa de solo seco (g)

V_{Cil} = Volume do cilindro (m^3)

Porosidade total:

$$P_t = 1 - \left(\frac{D_s}{2,65} \right)$$

P_t = Porosidade total ($\text{cm}^{-3}.\text{cm}^{-3}$)

D_s = Densidade do solo (g.cm^{-3})

Macroporos:

$$MACRO = \frac{U_{v\ sat}}{U_{v\ 10kPa}}$$

MACRO= Macroporos ($\text{cm}^{-3}.\text{cm}^{-3}$)

$U_{v\ sat}$ = Umidade volumétrica saturada (g)

$U_{v\ 10kPa}$ = Umidade volumétrica na tensão de 10 kPa (g)

Microporos:

$$MICRO = \frac{U_{v\ 10kPa}}{PMP}$$

MICRO= Microporos ($\text{cm}^{-3}.\text{cm}^{-3}$)

$U_{v\ 10kPa}$ = Umidade volumétrica na tensão de 10 kPa (g)

PMP= Ponto de murcha permanente (g.g^{-1})

Criptoporos:

$$CRIPTO = PMP$$

CRIPTO= Criptoporos ($\text{cm}^{-3}.\text{cm}^{-3}$)

PMP= Ponto de murcha permanente ($\text{g}.\text{g}^{-1}$)

Referente à avaliação da resistência a penetração, essa foi feita utilizando o penetrometro da Falker modelo PLG 2040 (Figura 14), em todas as profundidades trabalhadas no experimento, salvo quando o limite de força do equipamento chegava em seu limite. Juntamente com a realização da análise de RP, a umidade do solo foi quantificada em cada um dos tratamentos e repetições, pois os valores de análise de RP estão diretamente ligados a umidade em que o solo se encontra, sendo assim, quanto mais seco o solo estiver, mais alto serão os valores de RP e quanto mais úmido o solo estiver mais baixo serão os valores de RP.

Figura 14: Penetrometro Falker PLG 2040



Fonte: Demboski, 2022

3.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os resultados obtidos foram submetidos à análise da variância pelo teste F ($p < 0,05$) e quando as interações foram significativas foi realizado o desmembramento dos efeitos de tratamento de um fator dentro de cada nível de outro fator. Para os tratamentos qualitativos foi realizada a comparação de médias com o teste de Tukey ($p < 0,05$), utilizando o programa Sisvar (FERREIRA, 2011).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após o processamento da análise de variância, observou-se que de maneira geral, os manejos de solo utilizados foram significativos na redução da densidade do solo, no aumento da porosidade total e na diminuição da resistência à penetração, tendo correlação com profundidade estudada, e também com o manejo de inverno que foi feito na área. Já analisando a macroporosidade e microporosidade, essa apresentou diferença significativa relacionando a profundidade trabalhada, e quanto ao manejo de inverno, apenas a microporosidade foi influenciada.

Foram obtidos dados da área de mata para comparação com os dados analisados, sendo que, foram obtidos valores médios de 2142 kPa, 0,993 g.cm⁻³ e 0,625 cm⁻³.cm⁻³ de RP, densidade do solo e porosidade total, respectivamente, sendo encontrado valores acima aos considerados críticos por Girardello et al. (2014) e Klein & Camara (2007) somente na camada de 20-35 cm. Os valores de 0,25 cm⁻³.cm⁻³ e 0,14 cm⁻³.cm⁻³ para macroporos e microporos respectivamente.

Em relação aos manejos de solo que foram utilizados, pode-se observar, na Tabela 2 que o manejo utilizando o descompactador rotativo Vollverini diferiu estatisticamente do SPD, que é o manejo consolidado da área analisada, diminuindo a densidade do solo, a resistência a penetração (RP) e aumentando a porosidade total. O manejo com o subsolador convencional diferiu do SPD apenas na avaliação de RP, onde se obteve o menor valor médio entre os manejos utilizados, que foi de 2498 kPa, mas não diferiu do manejo utilizando o descompactador rotativo Vollverini. As avaliações de RP foram feitas juntamente com a determinação da umidade do solo, sendo que, os valores de umidade obtidos foram de 19,13%, 19,40% e 18,99% para os manejos de subsolador convencional, descompactador rotativo Vollverini e SPD, respectivamente.

Tais resultados de RP, densidade do solo e porosidade total corroboram com os resultados de Pesini et al. (2014) onde foi utilizado o manejo com subsolador para a melhoria física de um solo sob SPD, sendo que em seu trabalho a subsolagem foi eficiente reduzindo a RP em valores abaixo dos 2000 kPa. Girardello et al. (2014) também testaram a eficiência de escarificadores mecânicos sob solos manejados com SPD, onde os mesmos sugerem o valor crítico para a RP de 3,0 Mpa (3000 kPa), já Reichert et al. (2003) propuseram o valor crítico de 2,0 MPa para a cultura da soja e Klein & Camara (2007), por meio do intervalo hídrico ótimo (IHO), em um Latossolo, reportaram o valor de 3,0 MPa, como sendo associado ao ponto de murcha permanente da cultura da soja. Tais valores vão de encontro com os resultados

observados na Tabela 2, em que os valores médios para os manejos de solo utilizando o subsolador convencional e descompactador rotativo Vollverini conseguiram se manter abaixo do considerado crítico (3000 kPa) por Girardello et al. (2014) e Klein & Camara (2007), diferente do SPD que apresentou valor médio de RP de 3690 kPa.

Tabela 2: Médias de valores de densidade do solo, porosidade total, resistência a penetração (RP) e umidade do solo em manejos de solo com subsolador convencional, descompactador rotativo Vollverini e Sistema Plantio Direto (SPD).

| Manejo de solo | Densidade do Solo (g.cm⁻³) | Porosidade Total (cm⁻³.cm⁻³) | RP (kPa) | Umidade do solo (%) |
|-----------------------|--|---|-----------------|----------------------------|
| Subsolador | 1,36 ab | 0,48 ab | 2498 a | 19,13 |
| Vollverini | 1,34 a | 0,49 a | 2844 a | 19,40 |
| SPD | 1,39 b | 0,42 b | 3690 b | 18,99 |

*Médias seguidas por letras distintas, na mesma coluna, diferem pelo teste de Tukey (p<0,05).

Com isso pode-se observar que os manejos de solo com subsolador convencional e descompactador rotativo Vollverini foram eficientes em reduzir a RP elevada causada pelo SPD, e o descompactador rotativo Vollverini foi eficiente em reduzir a densidade do solo e a porosidade total quando comparado ao SPD. Pode-se destacar também que, a umidade gravimétrica do solo estava próxima dos valores de PMP (18%), o que pode ter acarretado em valores de RP mais elevados, com isso sugere-se que novas avaliações sejam feitas com valores de umidade do solo mais adequados.

Na Tabela 3, pode-se observar os valores médios de densidade do solo, porosidade total e RP nas profundidades estudadas. Observa-se que na camada de 0-5 cm a média de densidade do solo foi de 1,25 g.cm⁻³, 0,52 cm⁻³.cm⁻³ de porosidade total e RP de 752 kPa, o que pode ser explicado pelo maior teor de matéria orgânica presente na camada superficial. Na camada de 5-10 cm também se encontram valores médios favoráveis, porém se diferenciando da camada superficial, o que explica isso é a profundidade de trabalho da semeadora, que ajuda a manter essa camada subsuperficial menos adensada, e falando de RP, até a camada de 5-10 cm os valores encontram-se abaixo do considerado crítico (2000 kPa) por Pesini et al. (2014). Já na camada de 10-15 cm os valores observados estão dentro do aceitável conforme Girardello et al. (2014) e Klein & Camara (2007). Após a camada de 10-15 cm, os valores de RP ficam acima dos 3000 kPa indicados como valor crítico por Klein & Camara (2007) e Girardello et al. (2014).

Tabela 3: Médias de valores de densidade do solo, porosidade total, resistência a penetração (RP) em diferentes profundidades de trabalho.

| Profundidade (cm) | Densidade do Solo (g.cm⁻³) | Porosidade Total (cm⁻³.cm⁻³) | Resistência a Penetração (KPa) |
|------------------------------|--|---|---|
| 0-5 | 1,25 a | 0,52 a | 752 a |
| 5-10 | 1,36 bc | 0,48 bc | 1952 b |
| 10-15 | 1,43 c | 0,45 c | 2697 bc |
| 15-20 | 1,43 c | 0,46 c | 3666 cd |
| 20-35 | 1,38 bc | 0,47 bc | 4550 d |
| 35-50 | 1,33 b | 0,49 b | 4448 d |

*Médias seguidas por letras distintas, na mesma coluna, diferem pelo teste de Tukey (p<0,05).

Tais valores de densidade do solo, porosidade total e RP se devem as camadas de 10-15 e 15-20 cm serem mais adensadas na área de SPD, pois a pratica do mesmo não segue todas as suas premissas, tendo como consequência as camadas mais profundas do solo ficando cada vez mais compactadas, fazendo com que os implementos que possuem menor profundidade de trabalho não consigam descompactar essas camadas mais profundas. Pretende-se dar continuidade ao presente estudo realizando nova avaliação para avaliar os efeitos da descompactação a médio/longo prazo, buscando verificar se, com o arranjo das partículas por um maior tempo, o implemento consegue fazer a descompactação destas camadas mais profundas, já que suas hastes chegam até 45 cm de trabalho.

Os resultados de RP presentes nas Tabelas 2 e 3 vão de encontro com os resultados encontrados por Girardello et al. (2014), onde o mesmo afirma que após uma escarificação mecânica, independentemente do tipo de escarificador, observou-se um decréscimo nos valores de RP. Um dos principais objetivos da utilização de manejos de solo com implementos de descompactação é a diminuição da RP, e isso foi alcançado no referente trabalho. Klein & Camara (2007), avaliando o efeito de escarificador mecânico em Latossolo, também reportaram decréscimo na RP.

Na Tabela 4, pode-se observar que a camada de 0-5cm obteve resultados que diferiram estatisticamente das demais, trazendo uma menor densidade do solo e maior porosidade total no manejo de cobertura do solo em relação a área pastejada, isso se explica pela área destinada à pastagem ter sido submetida ao pisoteio do gado leiteiro, fazendo com que a densidade do

solo seja maior, e como consequência diminuindo a porosidade total quando comparada à área que foi somente destinada a cobertura vegetal.

Tabela 4: Médias de valores de densidade do solo e porosidade total, em diferentes profundidades de trabalho e em diferentes manejos de inverno.

| Profundidade (cm) | Densidade do solo (g.cm^{-3}) | | Porosidade Total ($\text{cm}^{-3}.\text{cm}^{-3}$) | |
|----------------------|--|----------|--|----------|
| | Cobertura | Pastagem | Cobertura | Pastagem |
| 0-5 | 1,21 a | 1,29 a | 0,54 a | 0,51 a |
| 5-10 | 1,41 bc | 1,45 b | 0,50 b | 0,46 b |
| 10-15 | 1,45 c | 1,41 b | 0,46 bc | 0,45 b |
| 15-20 | 1,40 bc | 1,37 ab | 0,45 c | 0,46 b |
| 20-35 | 1,36 bc | 1,30 a | 0,47 bc | 0,48 ab |
| 35-50 | 1,31 ab | 1,41 b | 0,48 bc | 0,50 a |

*Médias seguidas por letras distintas, na mesma coluna, diferem pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Pode-se observar na Tabela 4, ainda, que as camadas mais adensadas do solo são as de 5-10 e 10-15 cm, o que vai de encontro com os estudos de Reichert et al. (2008) que nomeiam esse efeito presente nessas camadas como “pé de plantio direto”. Estudos realizados por Silva et al. (2000b) e Stone & Silveira (2001) também demonstram essa tendência à compactação na camada subsuperficial em solo sob SPD.

A macro e microporosidade são parâmetros de grande importância para o solo, são responsáveis pela aeração (macro) e retenção de água (micro) no solo, onde quando temos valores muito reduzidos de macroporos e valores mais altos de microporos é um indicativo de compactação no solo, o que traz consequências para as culturas que ali se estabelecerão. Quando se observa os valores médios de macroporosidade na Tabela 5 em relação aos manejos de inverno, se tem valores baixos, os quais são considerados valores próximos aos limites para os valores críticos ($< 0,10 \text{ cm}^{-3}.\text{cm}^{-3}$) propostos por Pesini et al (2014). Beutler et al. (2003) destacam que solos que apresentam macroporosidade reduzida induzem ao crescimento lateral das raízes, que por este motivo diminuem o seu diâmetro a fim de penetrarem nos poros menores. Entretanto, em solos excessivamente porosos pode haver um menor contato do solo com a raiz, reduzindo a absorção de água e nutriente pelas raízes, e conseqüentemente, provocando um menor desenvolvimento. Em relação aos microporos, o manejo de inverno de pastagem diferiu estatisticamente com o teste t de comparação, ficando com $0,19 \text{ cm}^{-3}.\text{cm}^{-3}$.

Tabela 5: Médias de valores de macroporos, microporos e porosidade total, nos dois diferentes tipos de manejo de inverno.

| Manejo de inverno | Macroporos | Microporos | Porosidade Total |
|-------------------|--------------------------------------|------------|--------------------|
| | (cm ³ .cm ⁻³) | | |
| Pastagem | 0,10 ^{ns} | 0,19* | 0,48 ^{ns} |
| Cobertura | 0,11 | 0,18 | 0,48 |

* Significativo para teste t de comparação de média a 5% de probabilidade de erro.

^{ns} Não significativo para teste ANOVA

Na Tabela 5, observa-se valores menores de macroporos e maiores de microporos no manejo de inverno de pastagem, onde os valores de macroporos são considerados críticos (<0,10 cm³.cm⁻³) seguindo a literatura de Pesini et al (2014), isso se explica pelo fato do pisoteio do gado leiteiro na área, que apesar de não ter uma diferença significativa, gerou valores de macroporos menores que comparados ao manejo de cobertura, e com a diminuição dos macroporos, se teve um aumento no número de microporos.

Na Tabela 6, observa-se que os valores de microporos não tiveram diferença significativa entre os manejos de solo. Porém, quando observa-se os macroporos e porosidade total, o descompactador rotativo Vollverini se diferiu estatisticamente do SPD, mostrando que, com o manejo de solo foi possível obter maiores valores médios de macroporos, com um aumento de 33,33% em relação ao SPD, e atingir 0,49 cm³.cm⁻³ de porosidade total, muito próximo do valor ideal descrito por Kiehl (1979) que é de 50% (0,50 cm³.cm⁻³).

Pesini et al. (2014) e Camara e Klein (2005) encontraram resultados semelhantes em seus trabalhos, com um aumento na macroporosidade do solo após um manejo de solo utilizando escarificadores.

Tabela 6: Médias de valores de macroporos, microporos e porosidade total, nos diferentes tipos de manejo de solo.

| Manejo de Solo | Macroporos | Microporos | Porosidade Total |
|----------------|--------------------------------------|--------------------|------------------|
| | (cm ³ .cm ⁻³) | | |
| Subsolador | 0,10 ab | 0,19 ^{ns} | 0,48 ab |
| Vollverini | 0,12 a | 0,18 | 0,49 a |
| SPD | 0,09 b | 0,18 | 0,42 b |

*Significativo para teste t de comparação de média a 5% de probabilidade de erro.

^{ns} Não significativo para teste ANOVA

A ausência de diferença nos valores de microporosidade podem ser justificadas pela avaliação muito recente ao manejo do solo, onde que, o ideal seria a realização de uma avaliação futura onde as partículas do solo já estariam melhores arranjadas, avaliando novamente a macro e microporosidade do solo juntamente com a porosidade total.

Os valores de macro e microporos em diferentes profundidades também são importantes para a determinação de camadas mais adensadas e mais críticas para as culturas, onde que analisando os valores de macro, micro, criptoporos e porosidade total nas diferentes profundidades estudadas na Tabela 7, observa-se que na camada de 0-5 cm foram observados maiores valores de macro e microporos e porosidade total, isso justifica-se pelos manejos de solo feitos, acrescidos pelo revolvimento causado pela semeadora e também pela matéria orgânica presente na camada superficial, o que ajuda a prevenir a compactação nessa camada, visto que, a partir da camada de 10-15 cm já começam a ser encontrados valores considerados restritivos (<10%) de macroporos, segundo Pesini et al. (2014).

Resultados semelhantes foram encontrados por Flores et al. (2007) onde a macroporosidade e a porosidade total na camada de 0-2,5 cm foram maiores ($p < 0,05$), e o contrário aconteceu com a microporosidade. Flores et al. (2007) ainda ressalta que, nas camadas de 0,0–2,5 e 2,5–5,0 cm, os valores de densidade são numericamente mais baixos, e os de macroporosidade e porosidade total, mais altos, o que corrobora com os dados encontrados neste trabalho, também ressalta que a microporosidade permanece praticamente inalterada. Moraes & Lustosa (1997) também encontraram resultados semelhantes a estes.

Tabela 7: Médias de valores de macroporos, microporos, criptoporos e porosidade total, em diferentes profundidades de trabalho.

| Profundidade (cm) | Macroporos | Microporos | Criptoporos | Porosidade Total |
|----------------------|--------------------------------------|------------|-------------|------------------|
| | (cm ³ .cm ⁻³) | | | |
| 0-5 | 0,15 a | 0,21 a | 0,18 a | 0,52 a |
| 5-10 | 0,12 ab | 0,20 ab | 0,18 a | 0,48 bc |
| 10-15 | 0,09 b | 0,18 bc | 0,21 b | 0,45 c |
| 15-20 | 0,09 b | 0,18 bc | 0,21 b | 0,46 c |
| 20-35 | 0,09 b | 0,16 c | 0,24 c | 0,47 bc |
| 35-50 | 0,09 b | 0,17 c | 0,24 c | 0,49 b |

*Médias seguidas por letras distintas, na mesma coluna, diferem pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Após concluir-se a análise de todos os dados, mesmo tendo diferença significativa, alguns valores se mostram longe do que seria o ideal, como é o exemplo da densidade do solo (Tabelas 2, 3 e 4), que por mais que tenha reduzido com o manejo de solo utilizando o descompactador rotativo Vollverini, ainda está longe do ideal citado por Klein (2006) cujo valor é de $1,08 \text{ g.cm}^{-3}$, onde o mesmo cita que é nesse valor de densidade em que ocorre a máxima disponibilidade de água às plantas, sendo que em densidades abaixo dessa o excesso de macroporos acarreta pouca retenção de água e em densidades mais elevadas, a possibilidade de deficiência de aeração e resistência seja limitante ao crescimento das raízes.

No manejo de inverno de pastagem (Tabela 5) e na camada de 0-5 e 5-10 cm (Tabela 7) a média de microporosidade obteve valores maiores, tendo assim, uma maior água disponível para a planta, porém é necessário observar os valores de macroporosidade, que a partir da camada de 10-15 cm (Tabela 7) já estão abaixo do valor considerado crítico.

Os valores de porosidade total obtidos com o descompactador rotativo Vollverini (tabela 2) atingiram o que seria o ideal citado por Kiehl (1979), que seria o valor de 50%, observou-se também, médias de valores aproximadas do ideal nas profundidades de 0-5 cm (Tabela 4) em ambos os manejos de inverno (cobertura x pastagem).

Os valores de RP obtidos (Tabela 3) foram abaixo dos valores considerados críticos por Taylor et. al. (1963) ($<2000 \text{ kPa}$) até a camada de 5-10 cm, na camada de 10-15 cm os valores foram de 2697 kPa , acima dos valores considerados críticos por Taylor et. al. (1963) e Reichert et al. (2003), porém abaixo de 3000 kPa , valor considerável crítico por Girardello et al. (2014) e Klein & Camara (2007).

5 CONCLUSÕES

Pode-se concluir que o descompactador rotativo com rolo faca Vollverini foi eficiente em relação à diminuição da densidade do solo em 3,60%, da resistência à penetração em 22,93% e ao aumento da porosidade total em 16,67%, em especial dos macroporos (33,33%), quando comparado com o sistema consolidado na área nos anos anteriores, o Sistema Plantio Direto. O subsolador convencional não diferiu de nenhum dos manejos de solo.

Ainda, referente às profundidades, notou-se, em média, que as alterações físicas do solo puderam ser observadas até 15 cm, como por exemplo a redução na resistência a penetração. A partir de 15 cm de profundidade, a RP passou a ser limítrofe, ou seja, valores superiores à 3 Mpa. Deve-se destacar que as avaliações foram feitas 15 dias após os manejos de solo, e recomenda-se que avaliações futuras sejam feitas, a médio/longo prazo, onde que, com o arranjo das partículas do solo os valores encontrados podem sofrer alterações.

Em relação ao manejo de inverno (aveia cobertura x pastagem) percebeu-se maior densidade do solo ($1,29 \text{ g.cm}^{-3}$) e menor porosidade total ($0,51 \text{ cm}^{-3}.\text{cm}^{-3}$) em área manejada sob pastejo bovino.

Com tais os resultados, pode-se concluir que o descompactador rotativo Vollverini teve êxito em descompactar o solo de uma maneira equilibrada, alterando os valores acima citados, e juntamente com os resultados do trabalho de conclusão de curso “Influência dos manejos de solo sobre as propriedades físico-hídricas do solo” apresentado por Igor Dilly Martins em 23 de janeiro de 2023, pode-se dizer que o mesmo pode ser utilizado no SPD.

REFERÊNCIAS

- ABREU, S.L. **Propriedades hídricas e mecânicas afetadas por sistemas de manejo e variabilidade espacial de um Argissolo**. 2000. 65p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS
- ABREU, S. L.; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J. Escarificação mecânica e biológica para a redução da compactação em Argissolo franco-arenoso sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 28: 519-531, 2004.
- ALAKUKKU, L.; ELOMEN, P. Long-term effects of a single compaction by heavy field traffic on yield and nitrogen uptake of annual crops. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v.36, p.141-152, 1994.
- ALBUQUERQUE, J.A.; REINERT, D.J.; FIORIN, J.E.; RUEDELL, J.; PETRERE, C. & FONTINELLI, F. Rotação de culturas e sistemas de manejo do solo: efeito sobre a forma da estrutura do solo ao final de sete anos. **R. Bras. Ci. Solo**, 19:115-119, 1995.
- ANDREOLA, F.; COSTA, L.M.; OLSZEWSKI, N. Influência da cobertura vegetal de inverno e da adubação orgânica e, ou, mineral sobre as propriedades físicas de uma Terra Roxa Estruturada. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, v.24, p.857-865, 2000.
- ARTUSO, D. R. **Estratificação dos teores de potássio no solo de lavouras sob sistema plantio direto**. Dissertação de Mestrado pelo Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, UFSM, 2021.
- ASSOULINE, S.; TAVARES FILHO, J.; TESSIER, D. Effects of compaction on soil physical and hydraulic properties: experimental results modeling. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.61, p.390-398, 1997.
- BERTOL, I. **Comprimento crítico de declive para preparos conservacionistas de solo**. 1995. 185p. Tese. (Doutorado em Ciência do Solo) – Departamento de Solos, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS
- BERTOL, I., ALBUQUERQUE, J. A., LEITE, D., AMARAL, A. J., ZOLDAN JUNIOR, W. A.; Propriedades físicas do solo sob preparo convencional e semeadura direta em rotação e sucessão de culturas, comparadas às do campo nativo. **Seção VI – Manejo e conservação do solo e da água - R. Bras. Ci. Solo**. 28:155-163, 2004.

BERTOL, I.; BEUTLER, J.F.; LEITE, D. & BATISTELA, O. **Propriedades físicas de um Cambissolo Húmico afetadas pelo tipo de manejo do solo.** Sci. Agric., 58:555-560, 2001.

BERTOL, I.; SCHICK, J.; MASSARIOL, J.M.; REIS, E.F. & DILLY, L. **Propriedades físicas de um Cambissolo Húmico álico afetadas pelo manejo do solo.** Ci. Rural, 30:91-95, 2000

BEUTLER, A. N; CENTURION, J. F. Efeito do conteúdo de água e da compactação do solo na produção de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 38: 849-856, 2003.

BOAS, A. A. V.; GARCIA, D. F. B. **Agricultura, meio ambiente e desenvolvimento sustentável: Agricultura.** In: CONGRESSO DO SOBER, 45, 2007, Londrina. Plantio direto nas culturas do milho e soja no município do chapadão do chapadão-Go e os impactos para o meio ambiente. Londrina: Sober, 2007. v. 21, p. 3 – 3

BORGES, E.N.; NOVAIS, R.F.; REGAZZI, A.J.; FERNANDES, B.; BARROS, N.F. de. Respostas de variedades de soja à compactação de camadas de solo. **Revista Ceres**, Viçosa, v.35, n. 202, p.553-568, 1988.

BRAUNACK, M.V. & DEXTER, A.R. Soil aggregation in the seedbed: a review. I - Properties of aggregates and beds of aggregates. **Soil Tillage Res.**, 14:259-279, 1989.

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

CAMARA, R.K.; KLEIN, V.A. Propriedades físico-hídricas do solo sob plantio direto escarificado e rendimento da soja. **Ciência Rural**, Santa Maria, v35, n.4, p.813-819, jul./ago., 2005.

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

CAMPOS, B.C.; Morfologia do Solo. **Poligrafo – Classificação de solos.** Capítulo 1. 2019.

CAMPOS, B.C.; Levantamento de Solos. **Poligrafo – Classificação de solos.** Capítulo 3. 2019.

CANARACHE, A.; HORN, R.; COLIBAS, I. Compressibility of soils in a long term field experiment with intensive deep ripping in Romania. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 56, p.185-196, Aug., 2000.

- CANILLAS, E. C.; SALOKHE, V. M. A decision support system for compaction assessment in agricultural soils. **Soil Tillage Research**, Amsterdam, v.65, n.2, p.221-230, 2002
- CARPENEDO, V. & MIELNICZUK, J. Estado de agregação e qualidade de agregados de Latossolos Roxos, submetidos a diferentes sistemas de manejo. **R. Bras. Ci. Solo**, 14:99-105, 1990.
- CASSOL, E. A.; DENARDIN, J. E.; KOCHANN, R. A. **Sistema plantio direto: Evolução e implicações sobre a conservação do solo e da água**. In: CERETTA, C. A.; SILVA, L. S.; RERCHERT, J. M. (ed.). **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v.5, p.333-370, 2007.
- CASTRO NETO, P. **Desenvolvimento e avaliação de equipamentos e metodologia para determinação de parâmetros físicos do solo relacionados a dias trabalháveis com máquinas agrícolas**. 2001. 156p.
- CHAMEN, T. W.C. et al. Mitigating arable soil compaction: A review and analysis of available cost and benefit data. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 146, p. 10–25, Mar., 2015.
- COLLARES, G.L. et al. Compactação de um Latossolo induzida pelo tráfego de máquinas e sua relação com o crescimento e produtividade de feijão e trigo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n° 3, p. 933-942, maio/jun., 2008.
- COOKSON, W.R.; MURPHY, D.V.; ROPER, M.M. Characterizing the relationships between soil organic matter components and microbial function and composition along a tillage disturbance gradient. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 40, n. 3, p. 763–777, Mar., 2008
- COSTA, F.S. **Propriedades físicas e produtividade de culturas de um Latossolo Bruno sob sistemas de manejo do solo em experimentos de longa duração**. Lages, Universidade do Estado de Santa Catarina, 2001. 98p.
- COSTA, F.S.; ALBUQUERQUE, J.A.; BAYER, C.; FONTOURA, S.M.V. & WOBETO, C. Propriedades físicas de um Latossolo Bruno afetadas pelos sistemas de plantio direto e preparo convencional. **R. Bras. Ci. Solo**, 27:527-535, 2003.
- CURTIS, R.O.; POST, B.W. Estimating bulk density from organic matter content in some Vermont forest soils. **Soil Science Society America Proceedings**, Madison v.28, p.285-286, 1964

DE JONG-HUGHES, J.; MONCRIEF, J.F.; VOORHEES, W.B.; SWAN, J.B. **Soil compacting: causes, effects and control**. Morris, Minnesota: University of Minnesota Extension Service, 2001. 15p. (Communication and Educational Technology Services)

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 Ciência do Solo**, Viçosa, v.23, p.703-709, 1999.

DEFRA. **Cross compliance guidance for soil management**. Defra Publications, London. 2005. 76p.

DENARDIN, J. E.; KOCHHANN, R. A.; FAGANELLO, A.; SANTI, A.; DENARDIN, N. A.; WIETHOLTER, S. Diretrizes do sistema plantio direto no contexto da agricultura conservacionista. **Embrapa**, Documento 141, 2012. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/91357/1/2012-documentosonline-141.pdf>> Acesso em 06/05/2022.

DIAS JUNIOR, M. S. **Compression of three soils under long-term tillage and wheel traffic**. 1994.

DIAS JUNIOR, M.S.; FERREIRA, M.M.; FONSECA, S.; SILVA, A.R.; FERREIRA, D.F. Avaliação quantitativa da sustentabilidade estrutural dos solos em sistemas florestais na região de Aracruz-ES. **Revista Árvore**, Viçosa, v.23, n.4, p.371-380, 1999.

DRESCHER, M.S. et al. Resistência à penetração e rendimento da soja após intervenção mecânica em Latossolo vermelho sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 36, n. 6, p. 1836-1844, nov./dez., 2012.

DRESCHER, M.S; **Estratégias para descompactação do solo por escarificação e hastes sulcadoras em sistemas plantio direto**. UFSM – Centro de Ciências Rurais. 2015.

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

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Manual de métodos de análise de solo / Centro Nacional de Pesquisa de Solos**. 2. ed. rev. atual. Rio de Janeiro, 1997. 212p.: il. (EMBRAPA-CNPS. Documentos; 1)

EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos**. 5ª ed. Brasília: Embrapa, 2018. 356 p.

FERREIRA, D.F. Sisvar: a computer statistical analysis system. *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, v.35, n.6, p. 1039-1042, 2011.

FERREIRA, A. O.; MORAES SÁ, J. C.; HARMS, M. G.; MIARA, S.; BRIEDIS, C.; NETTO, C. Q.; SANTOS, J. B.; CANALLI, L. B. S.; DIAS, C. T. S.; Relação de estratificação como indicador do sequestro de carbono em macroagregados de Latossolo sob plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.46, n.4, p.645-652, abr., 2012.

FERRERAS, L. A. et al. Parâmetros físicos del suelo em condiciones no perturbadas y bajo laboreo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, n.1, p.161-170, jan., 2001.

FLORES, J. P. C.; ANGHINONI, I.; CASSOL, L. C.; CARVALHO, P. C. F.; DAL BELO LEITE, J. G.; FRAGA, T. I.; Atributos físicos do solo e rendimento de soja em Sistema Plantio Direto em integração lavoura-pecuária com diferentes pressões de pastejo. **R. Bras. Ci. Solo**, Seção VI – Manejo e conservação do solo e da água. 31:771-780, 2007.

GIRARDELLO, V. C.; AMADO, T. J. C.; SANTI, A. L.; CHERUBIN, M. R.; KUNZ, J.; TEIXEIRA, T. G.; Resistência à penetração, eficiência de escarificadores mecânicos e produtividade da soja em latossolo argiloso manejado sob plantio direto de longa duração. **R. Bras. Ci. Solo**, 38:1234-1244, 2014.

HAINES, W. B. Studies in the physical properties of soil. V. The hysteresis effect in capillary properties, and the modes of moisture distribution associated therewith. **The Journal of Agricultural Science**, 20, 1, 97-116, 1930.

HÅKANSSON, I. Machinery-induced compaction of arable soils: incidence, consequences, counter-measures. **Uppsala, Sweden: Dept. of Soil Sciences, Division of Soil Management**, 2005. 153p.

HAKANSSON, I.; MEDVEDEV, V.W. Protection of soils from mechanical overloading by establishing limits for stresses caused by heavy vehicles. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v.35, p.85-97, 1995.

HÅKANSSON, I.; STENBERG, M.; RYDBERG, T. Long-term experiments with different depths of mouldboard ploughing in Sweden. **Soil and Tillage Research**, v.46, p.209-223, 1998.

HATANO, R.; IWANAGA, K.; OKAJIMA, H.; SAKUMA, T. Relationship between the distribution of soil macropores and root elongation. **Soil Science and Plant Nutrition**, Tokyo, v.34, n.4, p.535-546, 1988.

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

HILLEL, D. **Introduction to soil physics**. San Diego: Academic Press, 1982. 364p

HORN, R. **Compressibility of arable land**. *Catena*, Jerusalém, v.11, p.53-71, 1988.

HORN, R. Stress transmission and recompaction in tilled and segmently disturbed subsoils under trafficking. In: JAYAWARDANE, N.; STEWART, B.A. Subsoiling management techniques. **New York: Advances in Soil Science**, 1994. p.187-210.

HORN, R.; LEBERT, M. Soil compactability and compressibility. In: SOANE, B. D.; OUWERKERT, C. van. **Soil compaction in crop production**. Amsterdam: Elsevier, 1994.p.45-69

HORN, R.; FLEIGE, H. A method for assessing the impact of load on mechanical stability and on physical properties of soils. **Soil & Tillage Research**, 73: 89-99, 2003.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA DO BRASIL – INMET. Normais Climatológicas. Disponível em: <<https://portal.inmet.gov.br/>>. Acesso em: 13/01/2023

JIN, H. et al. The adoption of annual subsoiling as conservation tillage in dryland maize and wheat cultivation in northern China. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 94, n. 2, p. 493-502, June, 2007.

JORGE, J.A. **Compactação do solo: causas, consequências e maneiras de evitar a sua ocorrência**. Campinas, SP: Instituto Agrônômico de Campinas, 1986. (Circular Técnica).

KIEHL, E. J. Manual de edafologia: relação solo-planta. São Paulo: **Agronômica Ceres**, 1979. 264p.

KLEIN, V. A.; Densidade relativa – um indicador de qualidade física de um latossolo vermelho. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lages, v.5, n.1, p. 26-32, 2006

KLEIN, V. A.; BASEGGIO, M.; MADALOSSO, T.; MARCOLIN. 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, jul, 2010

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

LAL, R. Role of mulching techniques in tropical soil and water management. **Ibadan: International Institute of Tropical Agriculture**, 1974. 37p. Technical Bulletin, n. 1.

LAL, R. & GREENLAND, B.J. **Soil physical properties and crop production in tropics**. Chichester, John Willey, 1979. p.7-85

LARSON, W.E.; GILL, W.R. Soil physical parameters for designing new tillage systems. In: NATIONAL CONSERVATION TILLAGE CONFERENCE. 1973, Ankeny. Proceedings... **Ankeny: Soil Conservation Society of America**, 1973. p.13-22

MANUWA, S.I. Performance evaluation of tillage tines operating under different depths in a sandy clay loam soil. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 103, p. 399–405, May, 2009.

MARCHÃO, R. L.; BALBINO, L. C.; SILVA, E. M.; SANTOS JUNIOR J. D. G; SA, M. A. C.; VILELA, L.; BECQUER, T. Qualidade física de um latossolo vermelho sob sistemas de integração lavoura-pecuária no Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, p. 873-882, 2007.

MARCHÃO, R. L.; VILELA, L.; PALUDO, A. L.; GUIMARÃES JÚNIOR, R. **Impacto do pisoteio animal na compactação do solo sob Integração Lavoura-Pecuária no Oeste Baiano**. Comunicado Técnico 163, Embrapa: Planaltina/DF, 2009.

MARTINS, I. D. **Influência dos manejos de solo sobre as propriedades físico-hídricas do solo**. 2023. Trabalho de conclusão de curso (bacharelado em Agronomia) – IFRS – Campus Ibirubá, Ibirubá 2023.

McBRIDE, R.A.; WATSON, G.C. An investigation of reexpansion of unsaturated, structured soils during cycles static loading. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v.17, n.3/4, p.241-253, 1990.

MIRANDA, E.É.V. **Avaliação da sustentabilidade da estrutura de um Latossolo sob cultivo de cafeeiro na região do cerrado**. 2001. 57p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Departamento de Solos e Nutrição de Plantas, Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

MORAES, A. & LUSTOSA, S.B.C. **Efeito do animal sobre as características do solo e a produção da pastagem**. In: SIMPÓSIO SOBRE AVALIAÇÃO DE PASTAGENS COM ANIMAIS, Maringá, 1997. Anais. Maringá, 1997. p.129- 149

MORENO, J.A. Clima do Rio Grande do Sul. **Boletim Geográfico do Rio Grande do Sul**, n.11, 1961.

MOTTER, P.; ALMEIDA, H. G. **Plantio Direto: A tecnologia que revolucionou a agricultura brasileira**. Foz do Iguaçu: Parque Itaipu, 2015. 73 p.

MULLER, M.M.L.; CECCON, G.; ROSOLEM, C.A. Influência da compactação do solo em subsuperfície sobre o crescimento aéreo e radicular de plantas de adubação verde de inverno. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 25, p. 531- 538, 2001.

NOVAK, L.R.; MONTOVANI, E.C.; MARTYN, P.J.; FERNANDES, B. Efeito do tráfego de trator e da pressão de contato pneu/solo na compactação de um Latossolo Vermelho-Escuro Álico, em dois níveis de umidade. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.27, p.1587-1595, 1992.

NUNES, M. R. **Estrutura de solos altamente intemperizados cultivados sob sistema de plantio direto**. Tese de Doutorado pelo Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Solos e Nutrição de Plantas), USP, 2018. Disponível em: <https://bdtd.ibict.br/vufind/Record/USP_843fd34dbf297e857009aab105017b73> Acesso em 14/07/2022.

OLESEN, J.E., MUNKHOLM, L.J. Subsoil loosening in a crop rotation for organic farming eliminated plough pan with mixed effects on crop yield. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 94, p. 376–385, June, 2007.

ORTIZ-CAÑAVATE, J. **Las maquinas agrícolas y su aplicación**. 5.ed. Madrid, Mundi-Prensa, 1995. 465p.

PESINI, F.; ROSA, D. P.; SANTOS, C. C.; FINCATTO, D.; PAGNUSSAT, L1; BRUINSMA, M. L. Uso de subsolador como técnica de melhoria física de um solo sob sistema plantio direto em sertão (RS). **RAMVI, Revista de Agronomia e Medicina Veterinária IDEAU**, Getúlio Vargas, v. 01, n. 01, jan./ jun. de 2014. Disponível em: <https://www.bage.ideau.com.br/wp-content/files_mf/712fbd30407c3ec340182f66ec5f6df3192_1.pdf>. Acesso em: 24 de jun. de 2022.

QUEIROZ-VOLTAN, R.B.; NOGUEIRA, S.S.S.; MIRANDA, M.A.C. Aspectos da estrutura da raiz e do desenvolvimento de plantas de soja em solos compactados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.35, p.929-938, 2000.

RAPER, R. L. Agricultural traffics impacts on soil. **Journal Terramechanics. Oxford**, v. 42, p. 259-280, n. 3-4, Mar./Apr. 2005.

REICHERT, J.M.; REINERT, D.J. & BRAIDA, J.A. **Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas**. *Ci. Amb.*, 27:29-48, 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. **Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, v.5, p.49-134. 2008.

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

RICHARDS. L. A. Methods of measuring soil moisture tension. **Soil Science**, 68, 1, 95-112, 1949.

ROSA, D. P. da; REICHERT, J. M.; MENTGES, M. I.; ROSA, V. T.; VIEIRA, D. A.; REINERT, D.J. Demanda de tração e propriedades físicas de um Argissolo em diferentes manejos e intensidades de tráfego. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 47: 118-126, 2012.

SECCO, D.; REINERT, D.J. Efeitos imediato e residual de escarificadores em Latossolo Vermelhoescuro sob PD. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.16, n.3, p.52-61, mar., 1997.

SEYBOLD, C.A.; HERRICK, J.E.; BREJDA, J.J. **Soil resilience: a fundamental component of soil quality**. Soil Science, New Brunswick, v.164, p.224-234, 1999.

SCHAEFER, C.E.R.; SILVA, D.D.; PAIVA, K.W.N.; PRUSKI, F.F.; ALBUQUERQUE FILHO, M.R.; ALBUQUERQUE, M.A. Perdas de solo, nutrientes, matéria orgânica e efeitos microestruturais em Argissolo Vermelho-Amarelo sob chuva simulada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.37, n.5, p.669-678, 2002.

SCHICK, J.; BERTOL, I.; BATISTELA, O. & BALBINOT JUNIOR, A.A. Erosão hídrica em Cambissolo Húmico alumínico submetido a diferentes sistemas de preparo e cultivo do solo: I- Perdas de solo e água. **R. Bras. Ci. Solo**, 24:427-436, 2000.

SCHOENHOLTZ, S.H.; VAN MIEGROET, H.; BURGER, J.A. A review of chemical and physical properties as indicators of forest soil quality: challenges and opportunities. **Forest Ecology and Management**, Wageningen, v.138, p.335-356, 2000.

SILVA, V. R.; REICHERT, J.M.; REINERT, D.J. Susceptibilidade à compactação de um Latossolo Vermelho-Escuro e de um Podzólico Vermelho-Amarelo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.4, p.239- 249, 2000a.

SILVA, V. R.; REINERT, D. J.; REICHERT, J.M. Densidade do solo, atributos químicos e sistema radicular do milho afetados pelo pastejo e manejo do solo. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, 24: 191-199, 2000b.

SOANE, B.D. Process of soil compaction under vehicular traffic and means of alleviating it. In: LAL, R.; SANCHEZ, P.A.; CUMMINGS, R.W. **Land clearing and development in the tropics**. Rotterdam: Balkema Publisher, 1986. p.265-297.

SPERA, S.T.; SANTOS, H.P.; FONTANELI, R.S.; TOMM, G.O. Efeitos de sistemas de produção de grãos envolvendo pastagens sob plantio direto nos atributos físicos de solo e na produtividade. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, v.28, p.533-542, 2004.

SPERA, S. T.; MAGALHÃES, C. A. S.; DENARDIN, J. E.; ZOLIN, C. A.; MATOS, E. S.; CHITARRA, L. G.; SHIRATSUCHI, L. S. **Estratificação química e física em solos**

manejados com sistema plantio direto em Mato Grosso: Entraves à produção das culturas. Embrapa Agrossilvipastoril, Documento 7, Sinop/MT, 2018.

SPOOR, G. Alleviation of soil compaction: requirements, equipment and techniques. **Soil Use and Management**, Oxford, v. 22, n. 2, p. 113-122, June, 2006.

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

STRECK, E.V; KÄMPF, N.; DALMOLIN, R.S.D.; KLAMT, E.; NASCIMENTO, P.C.; SCHNEIDER, P. Solos do Rio Grande do Sul. 2.ed. Porto Alegre: **EMATER/RS; UFRGS**, 2008.

SWAN, J.B.; MONCRIEF, J.F.; VOOHEES, W.B. **Soil compaction causes, effects, and control.** St. Paul: University of Minnesota, 1987. Agriculture Bulletin, 3115.

TAYLOR, H. M.; BRAR, G. S. Effect of soil compaction on root development. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v.19, p.111-119, 1991.

TAYLOR, H. M.; GARDNER, H. R. Penetration of cotton seedlings taproots as influenced by bulk density, moisture content and strength of soil. **Soil Science**. 96: 153- 156,1963.

TAYLOR, H.M.; ROBERTSON, G.M.; PARKER, J.J. Soil strength root penetration relations for medium to coarse textured soil materials. **Soil Science, New Brunswick** v.102, p.18-22, 1966.

TOPP, G.C.; REYNOLDS, W.D.; COOK, F.J.; KIRBY, J.M.; CARTER, M.R. Physical attributes of soil quality. In: GREGORICH, E.G.; CARTER, M.R. **Soil quality for crop production and ecosystem health.** Amsterdam: Elsevier Science, 1997. p.21-58

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**, Viçosa, v.22, p.573-581, 1998.

TORRES, E.; SARAIVA, O.F. **Camadas de impedimento mecânico do solo em sistema agrícolas com soja.** Londrina: EMBRAPA-CNPSoja, 1999. 58p. Circular Técnica, n. 23.

VALLIN, G. Sistemas de plantio direto: conheça vantagens e melhores técnicas. **Blog Syngenta digital**, out., 2021.

VEIHMAYER, F. J.; HENDRICKSON, H. Methods of measuring field capacity and permanent wilting percentage of soils. **Soil Science**, 68, 1, 75-94, 1949

VOMOCIL, J.A.; FLOCKER, W.J. Effect os soil compaction on storage and movement of soil, air and water. **American Society Agricultural Engineering**, St. Joseph, v.4, p.242- 246, 1966.

WIERMANN, C.; WAY, T.R.; HORN, R.; BAILEY, A.C.; BURT, E.C. Effect of various dynamic loads on stress and strain behavior of a Norfolk sandy loam. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v.50, p.127-135, 1999.

WIERMANN, C.; WERNER, D.; HORN, R.; ROSTEK, J.; WENER, B. Stress/strain processes in a structured silty loam Luvisol under different tillage treatments in Germany. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v.53, p.117-128, 2000.

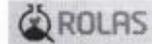
ANEXOS

ANEXO I - Análise de solo da área experimental



UNIVERSIDADE DE PASSO FUNDO
LABORATÓRIO DE SOLOS

Rodovia BR 285 - Bairro São José - Campus I - Cx. Postal 611 - Passo Fundo-RS
CEP: 99001-970 - Fone: 5433168166 - E-mail: labsofos@upf.br



Cliente: DANIELA BATISTA DOS SANTOS

CPF / CNPJ: 013.284.000-69

Endereço: - IBIRUBÁ/RS

Área:

Item Ensaiado: SOLO

Local de Coleta:

Recebimento: 04/09/2019

Emissão: 13/09/2019

Matricula:

RESULTADO(S) DO(S) ENSAIO(S)
LAB. DE SOLOS
ANÁLISE DE SOLO QUÍMICA COMPLETA

| Ensaio | Unidade | Amostras | |
|--------------------------------------|-----------------------|---------------------|----------------------|
| | | 4056/2019 0-10CM | 4057/2019 10-20CM |
| TEOR DE ARGILA | % | 56 | 65 |
| POTENCIAL DE HIDROGÊNIO (pH) | | 5,4 | 5,0 |
| ÍNDICE SMP | | 5,5 | 5,1 |
| FÓSFORO | mg/dm ³ | 35,1 | 15,5 |
| POTÁSSIO | mg/dm ³ | 158 | 40 |
| MATÉRIA ORGÂNICA | % | 3,5 | 2,6 |
| ALUMÍNIO | cmolc/dm ³ | 0,2 | 1,5 |
| CÁLCIO | cmolc/dm ³ | 6,16 | 3,32 |
| MAGNÉSIO | cmolc/dm ³ | 2,92 | 1,69 |
| ACIDEZ POTENCIAL (H+A) | cmolc/dm ³ | 7,7 | 12,3 |
| CAPACIDADE DE TROCA DE CÁTIONS (CTC) | cmolc/dm ³ | 17,2 | 17,4 |
| SATURACÃO POR BASES | % | 55 | 29 |
| SATURACÃO POR ALUMÍNIO | % | 2 | 23 |
| SATURACÃO POR POTÁSSIO | % | 2,3 | 0,6 |
| ZINCO | mg/dm ³ | 7,20 | 0,58 |
| COBRE | mg/dm ³ | 4,17 | 4,32 |
| MANGANÊS | mg/dm ³ | 58,10 | 43,30 |
| BORO | mg/dm ³ | 0,5 | 0,3 |
| ENXOFRE | mg/dm ³ | 12,4 | 13,0 |

Observações



JACKSON BORCHAGIN
Eng. Agr. CREA-RS 183514
RN 221161599-6
Responsável Técnico

UNIVERSIDADE DE PASSO FUNDO



FAMV - Faculdade de
Agronomia e Medicina Veterinária
AGRONOMIA

LABORATÓRIO DE FÍSICA E ÁGUA DO SOLO

BR 285 - km 292,7 - Campus I - Bairro São José - Passo Fundo/RS 99052-900- Fone:(54)3316-8199, Fax: (54)3316 8151

BOLETIM DE RESULTADOS DE ANÁLISE FÍSICA DO SOLO

CLIENTE: Daniela Batista dos Santos
LOCAL:
MUNICÍPIO: Ibirubá UF: RS
DATA: 13/09/2019
CÓDIGO: 325 P. 938

Tabela 1 – Composição do solo determinada pelo método do densímetro, utilizando solução Calgon e agitação recíprocante por 15 h, para dispersão, resultados expressos com base em massa de solo seco.

| Amostra | Argila | Silte | Areia | Tipo de Solo ^(*) |
|----------|--------|-------|-------|-----------------------------|
| | | | | IN 02/2008 (MAPA) |
| 0-10 cm | 62 | 14 | 24 | Tipo 3 |
| 10-20 cm | 69 | 14 | 17 | Tipo 3 |
| - | - | - | - | - |
| - | - | - | - | - |
| - | - | - | - | - |
| - | - | - | - | - |
| - | - | - | - | - |
| - | - | - | - | - |
| - | - | - | - | - |
| - | - | - | - | - |

(*) Definição do tipo de solo baseado no teor de argila, silte e areia, obtidos da análise da amostra de solo encaminhada ao Laboratório de Física e Água do Solo da FAMV/UPF pelo cliente.

PP

Eng.-Agr. Wilson Antonio Klein
RESPONSÁVEL TÉCNICO
CREA/RS 064262
RN 220086035-8



**Famv - Faculdade Agronomia
e Medicina Veterinária**

Laboratório de Análises de Solos, Adubos, Plantas
e Outros Materiais

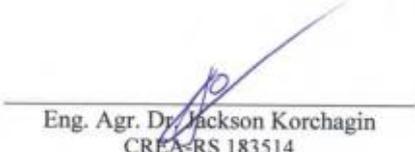
Laudo de Análise de Solo

Registro: 938/2019
Cliente: Daniela Batista dos Santos
Município: Ibirubá – RS
Material analisado: Solo

Data de Entrada: 04/09/2019
Data de Emissão: 24/09/2019
Localidade:

| Análises Especiais | | |
|---------------------------|--------------|-----------|
| Amostra | Co | Mo |
| | mg/kg | |
| 0-10cm | 24,49 | 165,22 |
| 10-20cm | 21,77 | 55,07 |

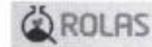
Resultados obtidos com a metodologia descrita em Tedesco et al. (1995).


 Eng. Agr. Dr. Jackson Korchagin
 CREA-RS 183514
 RNP 221161599-6
 Responsável Técnico



UNIVERSIDADE DE PASSO FUNDO
LABORATÓRIO DE SOLOS

Rodovia BR 285 - Bairro São José - Campus I - Cx. Postal 511 - Passo Fundo-RS
CEP. 99001-970 - Fone: 5433168166 - E-mail: labsolos@upf.br



Cliente: DANIELA BATISTA DOS SANTOS

CPF / CNPJ: 013.284.000-69

Endereço: - IBIRUBÁ/RS

Área:

Item Ensaiado: SOLO

Local de Coleta: TRAMONTINI - PROF. DANIELA

Recebimento: 04/09/2019

Emissão: 13/09/2019

Matrícula:

RESULTADO(S) DO(S) ENSAIO(S)
LAB. DE SOLOS
ANÁLISE DE SOLO QUÍMICA COMPLETA

| Ensaio | Unidade | Amostras | |
|--|-----------------------|----------------------------------|-----------------------------------|
| | | 4058/2019 AREA 2 - 0- 10CM | 4059/2019 AREA 2 - 10- 20CM |
| TEOR DE ARGILA | % | 54 | 66 |
| POTENCIAL DE HIDROGÊNIO (pH) | | 5,7 | 5,5 |
| ÍNDICE SMP | | 5,9 | 5,7 |
| FÓSFORO | mg/dm ³ | >51,0 | 20,4 |
| POTÁSSIO | mg/dm ³ | 136 | 55 |
| MATÉRIA ORGÂNICA | % | 2,7 | 2,3 |
| ALUMÍNIO | cmolc/dm ³ | 0 | 0 |
| CÁLCIO | cmolc/dm ³ | 5,86 | 5,26 |
| MAGNÉSIO | cmolc/dm ³ | 2,94 | 2,62 |
| ACIDEZ POTENCIAL (H+A) | cmolc/dm ³ | 4,8 | 6,2 |
| CAPACIDADE DE TROCA DE CÁTIONS (CTC) | cmolc/dm ³ | 14,0 | 14,2 |
| SATURAÇÃO POR BASES | % | 65 | 56 |
| SATURAÇÃO POR ALUMÍNIO | % | 0 | 0 |
| SATURAÇÃO POR POTÁSSIO | % | 2,5 | 1,0 |
| ZINCO | mg/dm ³ | 1,62 | 0,78 |
| COBRE | mg/dm ³ | 3,92 | 4,74 |
| MANGANÊS | mg/dm ³ | 41,30 | 32,50 |
| BORO | mg/dm ³ | 0,4 | 0,4 |
| ENXOFRE | mg/dm ³ | 5,8 | 2,5 |

Observações



JACKSON KORCHAGIN
Eng. Agr. CREA-RS 183514
RN 221161599-6
Responsável Técnico