

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO RIO GRANDE DO SUL
UNIDADE UNIVERSITÁRIA EM TRÊS PASSOS
CURSO DE BACHARELADO EM AGRONOMIA**

JENIFFER BORTOLINI SCHMELING

**EFEITO DE DIFERENTES PRÁTICAS CONSERVACIONISTAS NA
DESCOMPACTAÇÃO DO SOLO EM SISTEMA DE PLANTIO DIRETO NO
SUL DO BRASIL**

TRÊS PASSOS – RS

2021

JENIFFER BORTOLINI SCHMELING

**EFEITO DE DIFERENTES PRÁTICAS CONSERVACIONISTAS NA
DESCOMPACTAÇÃO DO SOLO EM SISTEMA DE PLANTIO DIRETO NO
SUL DO BRASIL**

Trabalho de Conclusão de Curso II
apresentado como requisito parcial para
obtenção do título de Engenheira
Agrônoma pela Universidade Estadual
do Rio Grande do Sul.

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Lorensi de
Souza

TRÊS PASSOS – RS

2021

Catálogo de Publicação na Fonte

S347e Schmeling, Jeniffer Bortolini.
Efeito de diferentes práticas conservacionistas na descompactação do solo em sistema de plantio direto no Sul do Brasil / Jeniffer Bortolini Schmeling. – Três Passos, 2021.
24 f.

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Lorensi de Souza.

Monografia (Graduação) – Universidade Estadual do Rio Grande do Sul, Curso de Bacharelado em Agronomia, Três Passos, 2021.

1. Subsolador. 2. Escanificação biológica. 3. Plantio direto. 4. Conservação do solo. 5. Produtividade. I. Souza, Eduardo Lorensi de. II. Título.

Ficha catalográfica elaborada por Laís Nunes da Silva CRB10/2176.

JENIFFER BORTOLINI SCHMELING

**EFEITO DE DIFERENTES PRÁTICAS CONSERVACIONISTAS NA
DESCOMPACTAÇÃO DO SOLO EM SISTEMA DE PLANTIO DIRETO NO
SUL DO BRASIL**

Trabalho de Conclusão de Curso II
apresentado como requisito parcial para
obtenção do título de Engenheira
Agrônoma pela Universidade Estadual
do Rio Grande do Sul.

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Lorensi de
Souza

Aprovado em: ____/____/____

BANCA EXAMINADORA

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Lorensi de Souza

(Orientador)

Universidade Estadual do Rio Grande do Sul - UERGS

Prof. Dra. Divanilde Guerra

Universidade Estadual do Rio Grande do Sul - UERGS

Prof. Dr. Mastrangelo Enivar Lanzasova

Universidade Estadual do Rio Grande do Sul - UERGS

EFEITO DE DIFERENTES PRÁTICAS CONSERVACIONISTAS NA DESCOMPACTAÇÃO DO SOLO EM SISTEMA DE PLANTIO DIRETO NO SUL DO BRASIL

EFFECT OF DIFFERENT CONSERVATION PRACTICES ON SOIL UNCOMPACTATION IN A DIRECT PLANTING SYSTEM IN SOUTHERN BRAZIL

RESUMO

A compactação do solo é um fator limitante para o alcance do potencial máximo de rendimento das culturas e ao mesmo tempo um desafio para o produtor em áreas submetidas ao sistema de plantio direto, onde a mobilização do solo é limitada a linha de semeadura sob a ação do mecanismo de sulco. O objetivo deste trabalho foi avaliar a eficiência dos diferentes métodos de descompactação/revolvimento do solo, em relação a conservação do solo e a produtividade do trigo em Latossolo. O delineamento experimental utilizado foi de blocos casualizados, contendo oito tratamentos de manejo do solo: Plantio direto (testemunha); Escarificação biológica; Subsolador; Trincagem do solo; Gesso a lanço + plantio direto; Escarificação biológica + gesso; Subsolador + gesso; Trincagem do solo + gesso; e quatro repetições, em parcelas 20,62 m² (5x4,12m). A escarificação biológica mais gesso e o subsolador na profundidade de 10-40 cm, promoveram menor resistência a penetração quando comparados aos demais tratamentos. Além disso, nas camadas de 40-50 cm, o plantio direto apresentou melhor resultado. Os métodos mecânicos de descompactação do solo, trincador do solo mais gesso e subsolador mais gesso, apresentaram resultados benéficos a curto prazo para o incremento da produtividade.

Palavras-chave: subsolador; escarificação biológica; plantio direto; conservação do solo; produtividade.

ABSTRACT

Soil compaction is a limiting factor for reaching the maximum yield potential of crops and at the same time a challenge for the producer in areas subjected to the no-till system, where soil mobilization is limited to the seeding line under the action of the groove mechanism. The objective of this work was to evaluate the efficiency of different methods of decompaction/soil turning, in relation to soil conservation and wheat yield in an Oxisol. The experimental design used was randomized blocks, containing eight soil management treatments: no-tillage (witness); Biological scarification; Subsoiler; Soil cracking; Cast plaster + direct planting; Biological scarification + plaster; Subsoiler + plaster; Soil cracking + gypsum; and four replications, in 20.62 m² (5x4.12 m) plots. Biological scarification plus gypsum and subsoiler at a depth of 10-40 cm, promoted lower resistance to penetration when compared to the other treatments. Furthermore, in layers of 40-50 cm, no-tillage showed the best result. The mechanical methods of soil decompaction, soil cracking plus gypsum and subsoiling plus gypsum, showed beneficial short-term results for increasing productivity.

Keywords: subsoiler; biological scarification; direct planting; soil conservation; productivity.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	
2 OBJETIVOS	
2.1 OBJETIVO GERAL	9
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	9
3 MATERIAL E MÉTODOS	9
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	13
5 CONCLUSÃO	17
REFERÊNCIAS	17

1 INTRODUÇÃO

O setor agrícola desempenha um papel importante na economia do Brasil, gerando empregos e renda, capaz de aumentar a segurança alimentar e aliviar a pobreza. O país nos últimos anos vem liderando rankings na produção e exportação da soja, açúcar, café, carne de frango e de bovinos, suco de laranja e tabaco (FAO, 2017).

Dentre as culturas de grãos, o trigo é o segundo cereal mais produzido no mundo e também um dos mais consumidos, estando presente na alimentação animal, produtos não alimentícios (antibióticos, cosméticos, embalagens solúveis, etc.) e principalmente na alimentação humana. Segundo dados divulgados pelo USDA (2021), a produção mundial na safra 2019/2020 foi de 763,9 milhões toneladas. O Brasil obteve na safra 19/20 uma produção de 6.234,0 mil toneladas, com a contribuição do Rio Grande do Sul de 2.697,6 mil toneladas (CONAB, 2021). A área total destinada para a produção de soja e trigo no Brasil, na safra 19/20, foram respectivamente de 36.950 mil hectares e 2.341,5 mil hectares (CONAB, 2021).

O sistema de sucessão de trigo-soja, tem sido empregado a décadas, principalmente na região Sul do país. Durante o período ocioso do inverno, o trigo tem sido utilizado como uma alternativa de renda e forma de proteção e melhoria da estrutura do solo, em áreas que antes eram deixadas em pousio (FRANCZISKOWSKI et al., 2018).

O esgotamento dos recursos naturais, a degradação do solo, como a erosão, depleção de nutrientes e compactação do solo, tem sido desafios socioeconômicos e ambientais provocados pelo uso intensivo do solo e práticas inadequadas de produção (MARTINS; FERNANDES, 2017). De acordo com Guerra e Jorge (2014) a *Global Assessment of Soil Degradation* (GLASOD) em relatório, estipulou que a degradação do solo em áreas agrícolas se dê a uma taxa de 6 a 7 milhões de hectares por ano, deteriorando as suas propriedades químicas e físicas, tornando-se um solo pouco produtivo. Em 2015, a Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO), lançou o estudo "Status of the World's Soil Resources" com participação da EMBRAPA, onde revelam que, mais de 33% dos solos do mundo estão degradados.

No entanto, um dos fatores limitantes para o alcance do potencial máximo de rendimento nessas áreas tem sido a alteração nas propriedades físicas do solo, principalmente a compactação, que compromete a sustentabilidade do sistema de plantio direto (SEKI et al., 2015). Segundo relatório da FAO publicado em 2015, a quantidade total de solo compactado em todo o mundo foi estimada em aproximadamente 68 milhões de hectares, cerca de 4% da área total de solo.

A alteração na porosidade do solo implica em restrições ao crescimento das raízes em camadas profundas, na quantidade de água e nutrientes disponível e absorção de nutrientes pelas plantas, limitando o desenvolvimento e produtividade ou até mesmo a morte das plantas em período de seca de curta duração. Além disso, o solo compactado mantém a água na superfície, impossibilitando a respiração das raízes e facilitando o processo de erosão hídrica do solo (DENARDIN, 2018). A compactação que ocorre hoje, pode fazer com que a produtividade da lavoura diminua por até 12 anos ou então se torne um problema permanente (EMBRAPA, 2016). A má gestão agrícola, como tráfego intenso de maquinários pouca produção de palhada e o sobrepastoreio, são responsáveis pela compactação de solo.

No sistema de plantio direto (SPD) a mobilização do solo é limitada a linha de semeadura sob a ação do mecanismo de sulco. Desta forma, constantemente são relatados problemas com compactação do solo em camadas superficiais e subsuperficiais situadas entre 0 – 5 cm e 5 - 20 cm de profundidade respectivamente (BERTOLLO; LEVIEN, 2019).

O SPD é uma prática conservacionista em que o plantio é efetuado diretamente sobre a palha, sem antecedência de preparo como gradagem ou aração (CRUZ et al., S.D.). A escarificação biológica é uma técnica que veio para complementar o SPD que vêm enfrentando dificuldade relativa à camada compactada. Consiste no uso de plantas de sistema radicular agressivo que auxiliam na descompactação do solo (HASKEL, 2020). Além disso, o uso de subsolador ou escarificador tem sido outra forma bastante utilizada para elevar a porosidade e a taxa de infiltração, através da ruptura do solo com o auxílio da haste de equipamentos, reduzindo a densidade e a resistência do solo a penetração (GONÇALVES et al., 2017).

Atualmente, os métodos utilizados para descompactar o solo são escarificação mecânica e biológica. Neto et al. (2019), trabalhando com escarificação biológica,

constatou que o nabo forrageiro contribuiu para a melhoria do solo, promovendo o aumento da macroporosidade e reduzindo os valores de resistência a penetração (RP). Os mesmos efeitos positivos sobre as propriedades físicas do solo, foi possível observar em alguns trabalhos ao avaliar o uso de escarificação mecânica de forma isolada ou combinada com o cultivo de plantas de cobertura (trigo, aveia e consórcio de ervilha forrageira com aveia preta, consórcio de aveia preta com nabo forrageiro). No entanto, a escarificação mecânica tem efeito temporário, e a RP é menor, se adotado individualmente como prática mitigadora da compactação do solo (KUTAH et al., 2019; FRANZISKOWSKI et al., 2018).

O emprego de sistemas conservacionistas, como sistema de plantio direto e o cultivo mínimo, tem possibilitado a melhora da qualidade do solo cultivável e a expansão da agricultura para novas áreas produtoras, com redução significativa nos custos de produção (SEKI et al., 2015). Associado a diferentes práticas de descompactação, é possível esperar um efeito positivo sobre as propriedades químicas e físicas do solo.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar a eficiência de diferentes métodos de descompactação do solo sobre a produtividade do trigo em Latossolo.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Avaliar a resistência a penetração nos diferentes tratamentos.

Avaliar a produtividade e o peso do hectolitro da cultura do trigo.

Avaliar a eficiência do gesso no processo de descompactação do solo.

Comparar a eficiência de um método biológico de descompactação do solo versus a metodologia tradicional (mecânico).

3 MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado no ano agrícola 2019/2020, no município de Bom Progresso, localizado na região noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, sob as coordenadas geográficas de latitude 27°32'40.23"S, longitude 53°50'32.26"O e altitude de 480 metros. Segundo a classificação de Köppen, a região é caracterizada pelo clima do tipo Cfa (Clima subtropical, com verão quente), subtropical temperado, com temperatura média anual que varia entre 18°C e 20°C, podendo apresentar mínimas negativas em algumas regiões no inverno e máximas próximas dos 40°C no verão. A pluviosidade anual varia de 1650 a 1850 mm (PESSOA, 2017). Os dados de precipitação média mensal foram obtidos por meio do Banco de Dados Meteorológicos do INMET. Estes estão apresentados na figura 1 e permite verificar que, durante o período experimental, a maior precipitação ocorreu no mês de julho, com 307,8 mm, e a menor ocorreu no mês de outubro, com 59,6 mm.

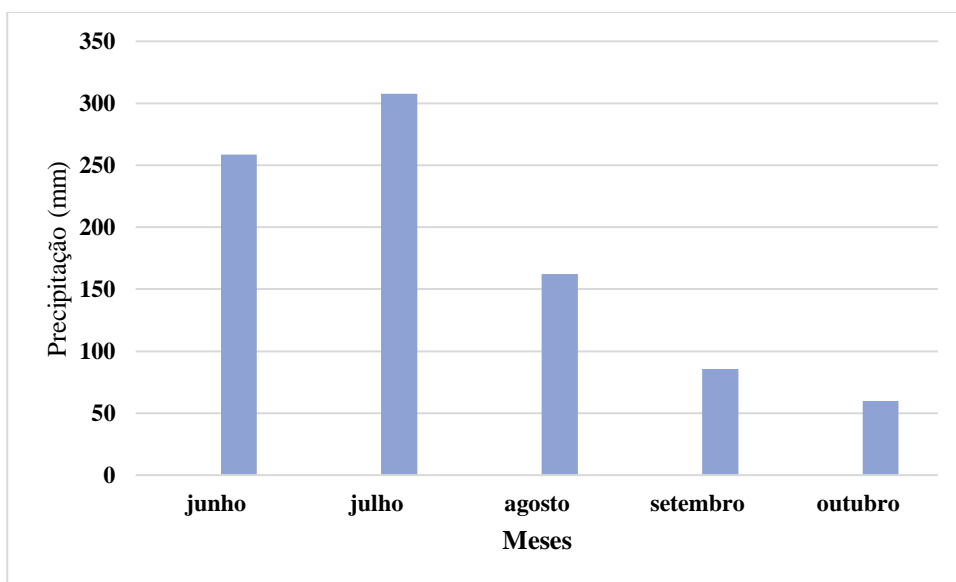


Figura 1. Regime pluviométrico ocorrido durante o desenvolvimento da cultura do trigo em Bom Progresso – RS. Fonte: Banco de Dados Meteorológicos do INMET, unidade de Santo Augusto, 2020.

O solo da área é caracterizado como Latossolo Vermelho Distrófico típico (EMBRAPA, 2013). Antes da instalação do experimento, realizou-se amostragem do solo nas camadas de 0-10, 10-20, 20-30 e 30-40 cm para caracterização química da área (tabela 1).

Tabela 1. Análises químicas e físicas na profundidade de 0-10, 10-20, 20-30 e 30-40 cm, em Latossolo Vermelho Distrófico típico.

Profundidade (cm)	Mehlich ⁻¹					
	Argila (%)	pH/H ₂ O	Índice SMP	P (mg/L)	K (mg/L)	M. O. (%)
0-10	62	5,0	5,7	8,7	58	2,6
10-20	>70	5,1	5,2	< 3,0	29	2,3
20-30	>70	5,0	5,3	< 3,0	22	1,8
30-40	>70	4,9	5,1	< 3,0	21	1,6

Profundidade (cm)	Mehlich ⁻¹					
	Complexo Sortivo (cmolc/dm ³)					V (%)
	Al	Ca	Mg	CTC	H + Al	
0-10	1,2	4,7	2,0	13,0	6,2	52,7
10-20	1,7	4,0	1,8	16,8	10,9	35,0
20-30	2,4	3,0	1,3	14,1	9,7	30,9
30-40	3,4	2,4	1,0	15,7	12,3	22,0

Antes a área experimental era manejada sob plantio direto, com rotações de soja (*Glycine max*), milho (*Zea mays*), aveia (*Avena sativa*) e trigo (*Triticum aestivum L.*).

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados, contendo oito tratamentos de manejo do solo e quatro repetições, em parcelas de 20,62 m² (5x4,12m). Os tratamentos avaliados na cultura do trigo foram:

T1 – Plantio direto (PD). (Testemunha).

T2 – Escarificação biológica (EB).

T3 – Subsolador (S).

T4 - Trincagem do solo (TS).

T5 – plantio direto + Gesso (PD + G).

T6 – Escarificação biológica + gesso (EB + G).

T7 - Subsolador + gesso (S + G).

T8 – Trincagem do solo + gesso (TS + G).

Neste trabalho foi testado o trincador de solo, equipamento inventado com o objetivo de descompactar e formar galerias no solo para captação e armazenamento de água.

Logo após a colheita da soja no mês de março de 2020, as parcelas destinadas para o tratamento de escarificação biológica foram cultivadas com um mix de nabo forrageiro (*Raphanus sativus L.*), cevada (*Hordeum vulgare*) e ervilhaca (*Vicia sativa L.*), antes do plantio do trigo, correspondendo ao tratamento escarificação biológica. A semeadura do mix de plantas de cobertura foi executada de modo mecanizado com semeadora - adubadora equipada de disco de corte mais haste sulcadora em sistema de plantio direto.

Para a descompactação do solo anterior ao cultivo de trigo, nos tratamentos S e S+G foi utilizado um arado subsolador modelo Bagual, equipado com cinco hastes, espaçadas em 0,30 m, a uma profundidade de 40 cm, e um destorroador/nivelador na parte traseira do equipamento, que dispensa a operação de gradagem subsequente. Nos tratamentos TS e TS + G o trincador de solo foi operado no sentido contrário ao do plantio, no centro das parcelas, era equipado com uma haste e um torpedo na ponta cuja função é formar uma galeria para o armazenamento da água e descompactação do solo, a 1 metro de profundidade. Esses tratamentos foram realizados um mês antes da implantação do trigo.

A semeadura do trigo foi realizada no dia 06 de junho de 2020 de modo mecanizado com semeadora - adubadora equipada de disco de corte mais haste sulcadora em sistema de plantio direto. A cultivar de trigo utilizada foi TBIO Sossego, com espaçamento entre linhas de 0,20 metros, com densidade aproximada de 6.804 plantas/ha⁻¹.

Nos tratamentos TS + G, S + G, PD + G e EB + G, o gesso agrícola utilizado foi de 3.630 kg/ha⁻¹ aplicado a lanço, em superfície para os tratamentos TS + G, PD + G e EB + G, e incorporado no solo para o tratamento S + G. A adubação de base para correção do solo foi 20 kg/ha⁻¹ de ureia, 226 kg/ha⁻¹ de super fosfato triplo e 116 kg/ha⁻¹ de cloreto de potássio, com a aplicação feita na linha de semeadura em conformidade as necessidades verificadas através de análise química do solo e estabelecidas conforme o Manual de Adubação e Calagem para estados do RS e de SC da comissão de química e fertilidade do RS (CQFS, 2016).

Realizou-se o monitoramento a campo para verificar a necessidade de manejo de pragas, plantas não desejáveis e possíveis doenças de acordo com as indicações técnicas específicas para cada cultura. No início do afilhamento e no início do alongamento foram aplicados os 40 kg ha⁻¹, dividido em duas doses de 20 kg ha⁻¹, correspondendo ao restante da ureia recomendada em cobertura.

Ao atingir o ponto de maturação fisiológica da espécie, foram coletadas manualmente quatro amostras, de um metro linear, (área útil de 6,36 m² em cada repetição), em cada parcela experimental, para quantificar a produtividade média da cultura do trigo. A determinação do PH do trigo se deu através do uso de balança hectolitro da Cooperativa Tritícola Mista de Campo Novo Cotricampo.

A avaliação da resistência do solo a penetração foi determinada no campo por meio de um medidor eletrônico de compactação do solo - penetrômetro PenetroLOG - modelo PLG1020, marca Falker, realizando a medição da RP através da inserção do cone metálico no solo, indicando em várias profundidades, o valor de pressão que corresponde a compactação do solo. Foram coletados três pontos por parcela, totalizando 72 pontos amostrados na área em estudo. As leituras foram realizadas até a profundidade de 60 cm. Este processo aconteceu após a colheita do terceiro cultivo realizado na área experimental.

Os resultados obtidos foram submetidos a análise de variância e testes complementares como contrastes ortogonais, utilizando o programa de análise estatística SISVAR 5.7 (FERREIRA, 2019). Os contrastes testados foram os seguintes: C1: T1 x T2, T3, T4, T5, T6, T7, T8; C2: T1 x T2; C3: T1 x T3; C4: T1 x T4; C5: T1 x T5; C6: T1 x T6; C7: T1 x T7; C8: T1 x T8; C9: T7 x T8.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A figura 2 traz os resultados obtidos com a medição dos 72 pontos amostrados na área em estudo. Pode-se observar que a extração dos dados foi realizada a uma profundidade de 0-60 cm.

Na figura 2 é possível visualizar que a camada de maior resistência a penetração ocorre no intervalo de 40-50 cm de profundidade, nesta camada a pressão exercida

ultrapassa 2,55 Mpa, chegando no valor máximo de 2,97 Mpa. A faixa crítica de RP é variável de acordo com cada tipo de solo, mas de maneira geral, valores com RP entre 2,0 e 2,5 Mpa, implicam em restrições no desenvolvimento radicular das plantas (TAYLOR, 1966). O aumento destes valores em profundidade, podem estar associados ao adensamento natural, menor teor de carbono nestas camadas do solo, à uma menor atividade radicular e também ao adensamento das partículas do solo provocado pelo tráfego de máquinas (SILVA et al., 2020).

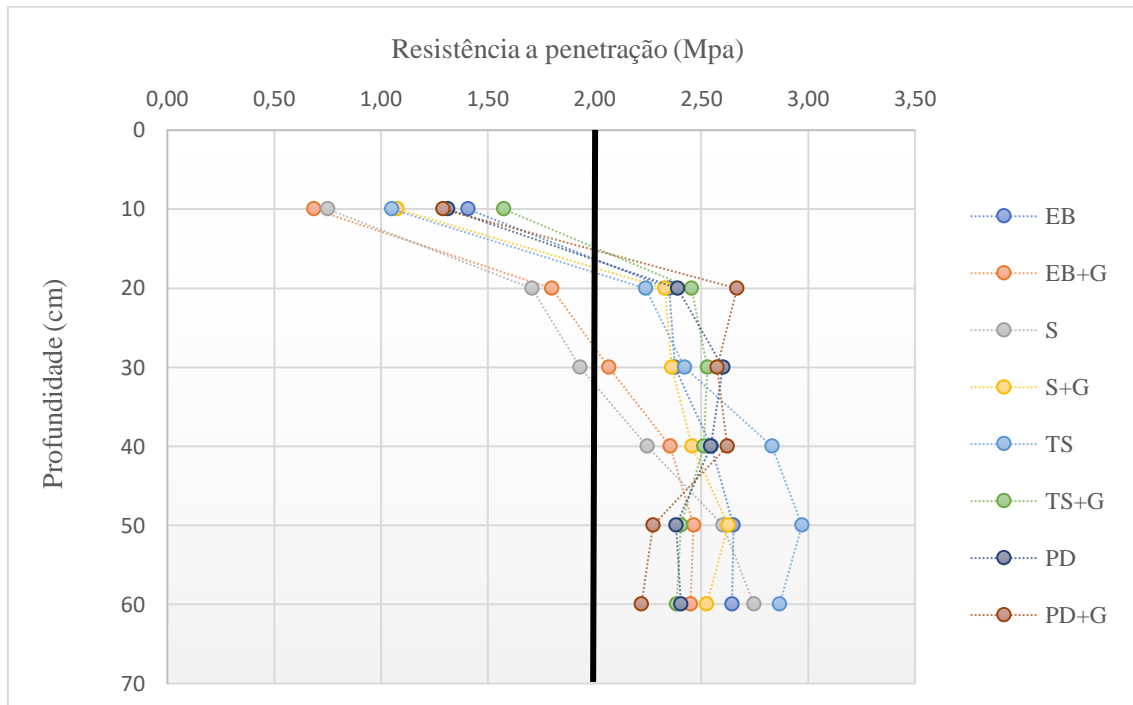


Figura 2 – Resistência do solo a penetração em Latossolo Vermelho, em diferentes profundidades e sistemas de manejo. Bom Progresso - RS, safra 2020/2021.

Na profundidade de 0-10 cm, a RP variou de 0,69 a 1,58 Mpa entre os diferentes métodos de descompactação do solo, onde o menor valor de RP observado foi nos tratamentos de escarificação biológica + gesso e subsolador, demonstrando ser estes dois métodos eficientes em reduzir a RP. Debiasi et al. (2010) obteve resultados semelhantes, com redução da compactação do solo na camada superficial (0-0,06 m) em área com cultivo de plantas de cobertura comparado com área sob pousio. Estes dados ainda corroboram com os resultados obtidos por Debiasi et al. (2008), em experimento de anos de pesquisa com métodos capazes de descompactar biologicamente o solo, por meio do crescimento e decomposição de raízes de determinadas espécies vegetais.

Nas camadas de 10-40 cm, os tratamentos escarificação biológica + gesso e subsolador se mantiveram com menor valor de RP se comparado com os demais tratamentos com gesso. O uso de gesso agrícola, pode ter possibilitado a melhoria do ambiente radicular em profundidade do solo, associado as plantas de cobertura (NEIS et al., 2010). O subsolador é utilizado para romper camadas compactadas a profundidades maiores, a subsolagem pode chegar a uma profundidade de até 1,0 m (SILVA et al., 2015).

Verificou-se que na camada de 40-60 cm, a RP variou de 2,27 a 2,97 Mpa entre os diferentes sistemas de recuperação do solo, onde o menor valor encontrado foi no tratamento de plantio direto mais gesso e trincador do solo mais gesso. Este dado corrobora com o experimento de Freitas et al. (2017), onde, no plantio direto, em maior profundidade, o efeito da compactação foi menor pelo fato deste método preconizar o não revolvimento do subsolo, possibilitando melhor estabilidade nas características físicas do solo. Embasando os resultados encontrados Torres et al. (2011) e Reichert et al. (2011), afirmam que o não revolvimento do solo mantém os espaços deixados pelas raízes das culturas produzindo poros contínuos que facilitam o fluxo saturado de água, favorecendo a aeração e a entrada de água. O TS apresenta na ponta um torpedo que forma uma galeria no solo, e uma haste que atua a uma profundidade maior que o subsolador, realizando forte movimentação no solo. Estes dados ainda mostram que, a gessagem atuou como um condicionador das estruturas do solo, favorecendo a agregação e reduzindo a resistência mecânica do solo à penetração (ROSA JUNIOR et al., 2006). Apesar de serem menores os valores de RP nos tratamentos PD+G e TS+G, estes dados encontram-se dentro da faixa crítica, sendo prejudicial para o desenvolvimento radicular das plantas, o qual se justifica pelo histórico da área ocorrer sucessão de culturas, excluindo a rotação de cultura, um dos princípios básicos do sistema de plantio direto.

A aplicação de gesso agrícola, melhora o ambiente em superfície, além de adicionar cálcio e sulfato ao solo. Quando se dissociam na solução do solo, o cálcio e o sulfato formam complexos químicos com outros cátions e ânions, que em formação com alumínio fazem com que fique em forma menos tóxica. Devido à sua alta solubilidade no solo, o gesso pode fornecer cálcio rapidamente, que pode ser lixiviado, melhorando a fertilidade e aumentando o desenvolvimento das raízes em profundidade sem necessidade de incorporação (ROSSETTO; SANTIAGO, 2011), atuando como

descompactante do solo e melhorando as condições do subsolo (RAIJ, 2008). Em estudo, Calandrelli et al. (2016) ao avaliarem a interação entre manejo do solo (SPD e SPD+escarificação) e a utilização de gesso agrícola, apresentou um aumento 98% de raízes no SPD mais gesso em profundidades de 20-40 cm e de 60% em profundidade 0,5 e 10 cm no SPD mais gesso.

Constatou-se que após a realização da subsolagem, as camadas de solo de 20-40 cm apresentaram menores valores de RP ao comparar com os demais tratamentos. Lembrando que, 40 cm foi a profundidade máxima de atuação do subsolador. Gonçalves et al. (2017), obteve resultados semelhantes ao avaliar a resistência do solo a penetração submetido a diferentes profundidades de subsolagem, com redução de 20% até a camada de 40 cm. Por outro lado, levando em consideração que o teste de RP foi efetuado após um ano da realização do manejo mecânico do solo, o uso de métodos mecânicos para a descompactação do solo traz resultado imediato. Ao avaliar a RP 18 meses após a escarificação, Mahl et al. (2008) verificaram que apenas na camada 0,5 e 0,10 m apresentou menor grau de compactação do solo. A duração dos seus efeitos pode ser inferior a um ano até 24 meses, retornando em pouco tempo a sua condição original, exigindo a repetição da operação (GIRARDELLO et al., 2011; SASAKI, 2005). Barros (2017) e Nicoloso et al. (2008), indicam sua associação com plantas de cobertura, para garantir resultado por mais tempo. Além disso, os sintomas de compactação podem ser observados tanto na planta quanto no solo, porém, é importante destacar o cuidado que se deve tomar para não confundir danos causados pela estiagem, moléstia e danos provocados pela seca (CAMARGO, 1997).

O PD e PD + G na camada de 0-30 cm obtiveram pouca influência na redução da RP. A ausência de revolvimento no plantio direto e as práticas de manejo, seja pela ação de compactação imposta pelo tráfego ou pela ação de revolvimento resultante dos mecanismos sulcadores das semeadoras alteram a estrutura do solo (BERTOLLO, 2019). Valadão et al. (2015), estudando a compactação do solo no sistema radicular da soja, constataram que a compactação do solo pelo tráfego de trator reduziu em 23% a área de raiz na camada superficial, não sendo detectado desenvolvimento radicular abaixo de 0,15 m de profundidade.

Na tabela 2 são apresentados os dados de peso hectolitro e o rendimento de grãos da cultura do trigo. O rendimento de trigo nos tratamentos variou de 33,2 a 51,3 sc/ha⁻¹ obtidos nas parcelas de testemunha e trincagem do solo mais gesso

respectivamente. Segundo os resultados dos contrastes realizados, observou-se que houve diferenças estatísticas entre os tratamentos no parâmetro de produtividade de grãos, onde mostrou um aumento ao efeito do subsolador + gesso e do trincador do solo + gesso, em um total de 44,2% e 54,5% respectivamente, a mais se comparado com a testemunha. De acordo com resultados obtidos por Klein et al. (2008), o cultivo de trigo em plantio direto escarificado, gerou aumento significativo de 37,9% no rendimento de grãos.

Tabela 2. Contrastes das médias de peso de hectolitro (PH) e produtividade (PD).

Contraste/ tratamento	PH	PD (sc/ha)
PD (testemunha) ⁽¹⁾	77	33,2
1 ^{c1}		
x		
EB ⁽²⁾ + PD	77,45 ^{ns}	34,3 ^{ns}
S ⁽³⁾ + PD	78,8 ^{ns}	45,5 ^{ns}
TS ⁽⁴⁾ + PD	77,45 ^{ns}	45,2 ^{ns}
GL ⁽⁵⁾ + PD	78,6 ^{ns}	36,4 ^{ns}
EB + GL+PD	76,8 ^{ns}	34,6 ^{ns}
S + GL + PD	78,35 ^{ns}	47,9 [*]
TS + GL+PD	77 ^{ns}	51,3 [*]
CV%	0,01	18,29
2 ^{c2}		
PD	77 ^{ns}	33,2 ^{ns}
x		
EB + PD	77,45+77	34,3+33,2
CV%	0,01	18,29
3 ^{c3}		
PD	77 ^{ns}	33,2 ^{ns}
x		
S + PD	78,8+77	45,5+33,2
CV%	0,01	18,29
4 ^{c4}		
PD	77 ^{ns}	33,2 ^{ns}
x		
TS + PD	77,45+77	45,2+33,2
CV%	0,01	18,29
5 ^{c5}		
PD	77 ^{ns}	33,2 ^{ns}
x		
GL + PD	78,6+77	36,4+33,2
CV%	0,01	18,29
6 ^{c6}		
PD	77 ^{ns}	33,2 ^{ns}
x		
EB + GL+PD	76,8+77	34,6+33,2
CV%	0,01	18,29
7 ^{c7}		
PD	77 ^{ns}	33,2 [*]
x		
S + GL + PD	78,35+77	47,9+33,2

	CV%	0,01	18,29
	PD	77 ^{ns}	33,2 [*]
8 ^{c8}	x		
	TS + GL+ PD	77+77	51,3+33,2
	CV%	0,01	18,29

Contrastes testados: 1^{c1}:PD x PC +PD; SUB + PD; TS + PD; GL + PD; PC + GL+PD; SUB + GL + PD. 2^{c2}: PD x PC + PD. 3^{c3}: PD x SUB + PD. 4^{c4}: PD x TS+PD. 5^{c5}: PD x GL + PD. 6^{c6}: PD x PC+GL+PD. 7^{c7}: PD x SUB+GL+PD. 8^{c8}: PD x TS + GL+PD.

(¹PD: Plantio direto (Testemunha); (²PC: Planta de cobertura ; (³SUB: Subsolador. (⁴TS: Trincagem do solo (⁵ GL: Gesso a lanço.

* Significativo à 5% de probabilidade de erro.

^{ns} Não significativo.

Um dos fatores que pode explicar este fato, é a precipitação pluvial a baixo da média histórica ocorrido durante o período do experimento, pois em camadas compactadas a disponibilidade de água é reduzida (MEGDA et al., 2008). Os demais tratamentos de preparo do solo não apresentaram diferença estatística entre si, porém, apresentaram diferenças em relação a testemunha.

O uso de equipamentos como subsolador e trincador do solo, provocam o desagregamento das partículas do solo, a diminuição da densidade do solo nas camadas superficiais e aumento da taxa de infiltração de água da chuva (MALLMANN, 2017), proporcionando um melhor armazenamento para a cultura, do que quando comparado com os demais tratamentos. Os tratamentos envolvendo preparo mecânico do solo apresentaram bons resultados, porém, como citado anteriormente, são métodos que irão garantir um efeito efêmero. Além disso, a aplicação de gesso proporciona maior desenvolvimento radicular, desta forma as raízes passam a explorar melhor o perfil do solo e absorver água e nutrientes de forma mais eficiente (BARZTEN et al., 2020).

A aplicação do gesso agrícola possibilita a melhoria do ambiente radicular em profundidade no solo (NEIS et al., 2010), pelo fato de suprir o solo com cálcio e enxofre e reduzir os níveis de alumínio tóxico em camadas mais profundas, logo, ocorrendo uma maior exploração do sistema radicular no perfil do solo, auxiliando para um aumento da absorção de água e nutrientes, assim, tendo mais tolerância em períodos de déficit hídrico (BROCH; RANNO, 2009). Resultados semelhantes foram obtidos por Rampim (2011), que ao avaliar os atributos químicos de solo e resposta do trigo e da soja ao gesso, obteve um incremento na produtividade do trigo, além do aumento do teor foliar nas culturas do trigo e da soja.

O uso de plantas de cobertura como prática de descompactação do solo, obteve pouco incremento na produtividade. Gatzke (2017), também obteve valores numéricos superiores, mas não obteve diferença estatística ao avaliar o rendimento de grãos do trigo onde houve o cultivo de entressafra com plantas de cobertura. Nos últimos anos, a área estava sendo utilizada em modo de cultivo de plantio direto. Os resultados mostram que apenas um ano com um sistema de manejo diferente não foi capaz de alterar o rendimento final do trigo. Krenchinski et al. (2018), testando diferentes coberturas antes da implantação da cultura da soja, observou melhorias no rendimento da soja somente a partir do segundo ano.

Quanto a análise do peso do hectolitro das sementes de trigo, pode se observar que a qualidade dos grãos não foi afetada pelas mudanças que ocorreram nos atributos físicos do solo (Tabela 2), variando de 76,8 a 78,6, para os tratamentos EB+G e PD+G. Além de que estes valores de PH estão dentro do recomendado ao viés de qualidade do grão. O peso do hectolitro refere-se ao peso dos grãos, e é considerado um indicativo de qualidade, que tem como referência no Brasil, um valor igual a 78 kg/hl (ALMEIDA et al., 2011). Os baixos valores de pluviosidade que ocorreram durante o mês de outubro de 2019 (Figura 1), período de maturação em campo das espigas no ensaio, possivelmente contribuíram para estes resultados. Em comparação com os tratamentos contendo EB, resultados semelhantes foram obtidos por Ledur (2017), ao avaliar o efeito de plantas de cobertura sob a produtividade de trigo, onde teve pouca influência sobre o PH da cultura. Esses resultados ainda corroboram com os encontrados por Moraes et al. (2013), o qual observou que o uso da escarificação do solo pouco influenciou no PH do trigo.

De maneira geral, o tratamento S teve um resultado satisfatório no primeiro terço de avaliação a RP, sendo um ótimo método para resolver algum problema pontual de RP nas camadas superficiais se estendendo até a profundidade de 40 cm. É uma técnica que tem sido utilizada para romper camadas de solo compactadas e promover a infiltração de água, melhor desenvolvimento de raízes, com o mínimo revolvimento do solo (FERNANDES et al., 2012). A partir dessa camada o tratamento PD+G e TS+G, foram os que tiveram um desempenho satisfatório na referida faixa de avaliação. No quesito produtividade, os tratamentos TS+G e S+G se destacaram dos demais. Desta forma, pode-se verificar que a aplicação do gesso agrícola associado aos manejos do

solo, é uma possibilidade de melhoria do ambiente radicular em profundidade no solo e consequentemente do aumento da produtividade.

Pode-se perceber que os tratamentos EB+G e PD+G, ambos tiveram ótimos resultados, o que corrobora com toda a teoria da conservação do solo, implantação da prática do Sistema de Plantio direto, que tem as principais bases do plantio sobre palhada, rotação de culturas e o mínimo revolvimento do solo. O que vem a contribuir para um bom desenvolvimento do sistema como um todo, reduzindo as chances para ocorrer uma compactação do solo, tendo a rotação de culturas um aliado a estruturação do solo, levando até as camadas mais profundas um ambiente ideal para o desenvolvimento das raízes.

5 CONCLUSÕES

A escarificação biológica mais gesso e o subsolador na profundidade de 10-40 cm, promoveram menor resistência a penetração quando comparados aos demais tratamentos. Além disso, nas camadas de 40-50 cm, o plantio direto apresentou melhor resultado.

Os métodos mecânicos de descompactação do solo, trincador do solo mais gesso e subsolador mais gesso, apresentaram resultados benéficos a curto prazo para o incremento da produtividade.

No entanto, vale destacar que a forma adequada de manejo do solo, visando promover melhores condições físicas do solo para o crescimento radicular e incrementos de produtividade, continua sendo o sistema de plantio direto. Para isso, faz-se necessário ter cuidados, desde a implantação do sistema, e execução de maneira correta, com a correção da fertilidade do solo em profundidade (se necessário), e os três princípios básicos que são: mínimo revolvimento do solo, cobertura permanente do solo e rotação de culturas.

REFERÊNCIAS

BARROS, L. R. et al. **Escarificação e gessagem na descompactação do solo sob sistema plantio direto.** 61 p. Dissertação (Pós Graduação em Agronomia) - Universidade Federal de Goiás Escola de Agronomia, [S. l.], 2017.

- BARTZEN, B. T. et al. Resposta do trigo e soja após a aplicação de doses de gesso agrícola. **Acta Iguazu**, v. 9, n. 3, p. 113-123.
- BERTOLLO, A. M.; LEVIEN, R. Compactação do solo em Sistema de Plantio Direto na palha. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, v. 25, n. 3, p. 208-218, 2019.
- BROCH, D. L. et al. Fertilidade do solo, adubação e nutrição da cultura da soja. **Tecnologia de produção de soja e milho**, v. 2009, n. 2008, p. 5-36, 2008.
- CALANDRELLI, A. et al. Distribuição de raízes de soja em semeadura com haste no SPD em função da escarificação e gessagem. In: **Embrapa Soja-Artigo em anais de congresso (ALICE)**. In: JORNADA ACADÊMICA DA EMBRAPA SOJA, 11., 2016, Londrina. Resumos expandidos. Londrina: Embrapa Soja, 2016., 2016.
- CAMARGO, O. A.; ALLEONI, L. R. F. **Compactação do solo e o desenvolvimento das plantas**. Piracicaba: ESALQ, 1997. 132p
- COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO - CQFRS/SC. **Manual de calagem e adubação para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. 11.ed. Porto Alegre, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2016. 376p.
- CONAB, **Acomp. safra bras. grãos, v. 5 Safra 2020/2021** – Quarto levantamento, Brasília, p. 1-85 Janeiro 2021, ISSN 2318-7913. USDA, Oilseeds: World Markets and Trade, Foreign Agricultural Service/USDA January 2021 Global Market Analysis, 21/01/2021.
- CRUZ, J. C. et al. Plantio direto: Sistema de plantio direto de milho. **AGEITEC - Agência Embrapa de Informação Tecnológica**, [s. l.], [S. D.]. Disponível em: https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/milho/arvore/CONTAG01_72_59200523355.html#. Acesso em: 20 jan. 2021.
- DEBIASI, H. et al. Produtividade de soja e milho após coberturas de inverno e descompactação mecânica do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 45, n. 6, p. 603-612, 2010.
- DEBIASI, H.; FRANCHINI, J. C.; GONÇALVES, S. L. **Manejo da compactação do solo em sistema de produção de soja sob semeadura direta**. Londrina: Embrapa Soja, 2008. 20p. (Embrapa Soja. Circular Técnica, 63).
- DENARDIN, J. E. Compactação e adensamento do solo: caracterização, origem, riscos, danos e soluções. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2018.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3 ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2013.
- EMBRAPA. Empresa brasileira de pesquisa agropecuária. **Estudo revela que cerca de 30% dos solos do mundo estão degradados**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2016.
- FERNANDES, A. L.; SANTINATO, F.; SANTINATO, R. Utilização da subsolagem na redução da compactação do solo para produção de café cultivado no cerrado mineiro. **Enciclopédia Biosfera**, v. 8, n. 15, 2012.
- FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer analysis system to fixed effects split plot type designs. **Revista Brasileira de Biometria**, v. 37, n. 4, p. 529-535, 2019.
- FRANCZISKOWSKI, M. A. **Efeito da escarificação mecânica e biológica nas propriedades físicas de um latossolo e produtividade da soja em sucessão**. 45 p.

Dissertação (Mestrado) – Curso de Agronomia, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Marechal Cândido Rondon, 2018.

GIRARDELLO, V. C. et al. Alterações nos atributos físicos de um Latossolo Vermelho sob plantio direto induzidas por diferentes tipos de escarificadores e o rendimento da soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 2115-2126, 2011.

GONÇALVES, S. B. et al. Resistência do solo a penetração em diferentes profundidades de subsolagem. **Nativa**, v. 5, n. 3, p. 224-229, 2017.

GUERRA, A. J. T.; JORGE, M. do C. O. (Ed.). **Degradação dos solos no Brasil**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2014.

HASKEL, M. K. et al. **Atributos físicos do solo conduzidos sob escarificação mecânica, biológica e plantio direto: influência na produtividade biológica das culturas**. 80 p. Dissertação (Mestrado). Curso de Agronomia, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2020.

KLEIN, V. A. et al. Porosidade de aeração de um Latossolo Vermelho e rendimento de trigo em plantio direto escarificado. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, p. 365-371, 2008.

KUTAH, B. de F. et al. Escarificação em semeadura direta: resistência do solo à penetração e produção de fitomassa. VI REUNIÃO PARANAENSE DE CIÊNCIA DO SOLO - RPCS, Ponta Grossa – PR, p. 1-4, 2019.

LEDUR, C. L. **Uso de plantas de cobertura no período outonal e seu efeito sobre os atributos físicos do solo e a produtividade do trigo**. 53 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Agronomia) – Universidade Federal Fronteira Sul, Cerro Largo – RS, 2017.

MAHL, D. et al. Resistência do solo à penetração, cobertura vegetal e produtividade do milho em plantio direto escarificado. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 30, p. 741-747, 2008.

MALLMANN, M. S. **Infiltração e armazenamento de água em sistemas de manejo de solo e influência sobre a cultura de milho em um latossolo argiloso**. 57 p. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Agronomia) - Universidade Federal da Fronteira Sul, Cerro Largo - RS, 2014.

MARTINS, J. C.; FERNANDES, R. Processos de degradação do solo—medidas de prevenção. **Vida Rural**, v. 5, n. 1827, p. 34-36, 2017.

MEGDA, M. M. et al. Correlação linear e espacial entre a produtividade de feijão e a porosidade de um Latossolo Vermelho de Selvíria- MS. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, n.2, p.781-788, 2008.

MORAES, M. T. **Qualidade física do solo sob diferentes tempos de adoção e de escarificação do sistema plantio direto e sua relação com a rotação de culturas**. 205 p. Dissertação (Mestrado). Ciência do solo, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria - RS, 2013.

NEIS, L. et al. Gesso agrícola e rendimento de grãos de soja na região do sudoeste de Goiás. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, n. 2, p. 409-416, 2010.

NETO, E. G. et al. Eficiência da escarificação biológica sobre a resistência à penetração em latossolo bruno submetido a compactação. **VI Reunião Paranaense de Ciência do Solo - RPCS**, Ponta Grossa - PR, 2019.

NICOLOSO, R. S. et al. Eficiência da escarificação mecânica e biológica na melhoria dos atributos físicos de um Latossolo muito argiloso e no incremento do rendimento de soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, p. 723-734, 2008.

PESSOA, M. L. (Org.) Clima do RS. Atlas FEE. Porto Alegre: FEE, 2017. Disponível em: < <http://atlas.fee.tche.br/rio-grande-do-sul/socioambiental/clima/> >. Acesso em: 25 de agosto de 2020.

RAIJ, B.V. Gesso na agricultura. **Campinas: Instituto Agronômico**, 2008. 233p.

REICHERT, J. M. et al. Hidrologia do solo, disponibilidade de água às plantas e zoneamento agroclimático. In: KLAUBERG FILHO, O.; MAFRA, A. L.; GATIBONI, L. C. **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2011. v.7, p.1-54, 2011.

ROSA JÚNIOR, E.J. et al. Calcário e gesso como condicionantes físico e químico de um solo de cerrado sob três sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v.36, p.37-44, 2006.

ROSSETTO, R.; SANTIAGO, A. D. Gessagem. **Agencia Embrapa de Informação Tecnológica-Ageitec**. 2011. Disponível em: https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-deacucar/arvore/CONTAG01_35_711200516717.html > Acesso em: 29 nov. 2021.

SASAKI, C. M. **Desempenho operacional de um subsolador em função da estrutura, do teor de argila e de água em três latossolos**. 2005. Tese (Doutorado) Ciências. Universidade de São Paulo.

SEKI, A. S. et al. Efeitos de práticas de descompactação do solo em área sob sistema plantio direto. **Revista Ciência Agronômica**, v. 46, n. 3, p. 460-468, 2015.

SILVA, L. I. et al. Resistência à penetração de um Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico sob diferentes manejos e métodos. **Embrapa Rondônia-Artigo em periódico indexado (ALICE)**, 2020.

SILVA, R. P. **Compactação do solo, escarificação e subsolagem**. Tese (Doutorado) - Zootecnia, Universidade Estadual Paulista “Júlio De Mesquita Filho. Jaboticabal – São Paulo, 2015.

Status of the World's Soil Resources: Main Report (2015). FAO, Rome, It

TAYLOR, H. M.; ROBERSON, G. M.; PARKER JR, J. J. Soil strength-root penetration relations for medium-to coarse-textured soil materials. **Soil science**, v. 102, n. 1, p. 18-22, 1966.

TORRES, J. L. R.; FABIAN, A. J.; PEREIRA, M. G. Alterações dos atributos físicos de um latossolo vermelho submetido a diferentes sistemas de manejo. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavra, v.35, n.3, p.437-445, 2011.

USDA. (2021) *Grain: World Markets and Trade*. Foreign Agricultural Service/USDA, January 2021, **Global Market Analysis**, 21/01/2021.

VALADÃO, F. C. de A. et al. Adubação fosfatada e compactação do solo: sistema radicular da soja e do milho e atributos físicos do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 39, p. 243-255, 2015