

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO RIO GRANDE DO SUL  
UNIDADE UNIVERSITÁRIA EM SÃO LUIZ GONZAGA  
CURSO DE BACHARELADO EM AGRONOMIA**

**FABIELE APARECIDA GARCIA VEDANA**

**APORTE DE FITOMASSA VISANDO INCREMENTO DE PRODUTIVIDADE  
DA SOJA (*Glycine max*) E MELHORIA DA ESTRUTURA FÍSICA DO SOLO**

**SÃO LUIZ GONZAGA, RS**

**2024**

**FABIELE APARECIDA GARCIA VEDANA**

**APORTE DE FITOMASSA VISANDO INCREMENTO DE PRODUTIVIDADE DA  
SOJA (*Glycine max*) E MELHORIA DA ESTRUTURA FÍSICA DO SOLO**

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

Orientadora: Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Marta Sandra Drescher

**SÃO LUIZ GONZAGA, RS**

**2024**

**DADOS INTERNACIONAIS DE CATALOGAÇÃO NA PUBLICAÇÃO (CIP)**

V414a Vedana, Fabiele Aparecida Garcia

Aporte de fitomassa visando incremento de produtividade da soja (*Glycine max*) e melhoria da estrutura física do solo / Fabiele Aparecida Garcia Vedana. - São Luiz Gonzaga/RS, 2024.  
[21] f. : il.

Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Marta Sandra Drescher.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Estadual do Rio Grande do Sul, Curso de Agronomia

Daniella Vieira Magnus - Bibliotecária - CRB 10/2233

**FABIELE APARECIDA GARCIA VEDANA**

**APORTE DE FITOMASSA VISANDO INCREMENTO DE PRODUTIVIDADE  
DA SOJA (*Glycine max*) E MELHORIA DA ESTRUTURA FÍSICA DO SOLO**

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

Orientadora: Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Marta Sandra Drescher

**BANCA EXAMINADORA**

---

Orientadora: Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Marta Sandra Drescher  
Universidade Estadual do Rio Grande do Sul – UERGS

---

Prof Dr Mastrângello Enivar Lanzasova  
Universidade Estadual do Rio Grande do Sul – UERGS

---

Prof Ms Eugenio Farias Marques Portela  
Universidade Estadual do Rio Grande do Sul - UERGS

**SÃO LUIZ GONZAGA, RS**

**2024**

## RESUMO

A agricultura é uma das atividades de maior importância para a economia brasileira, é um dos setores que mais contribui para o crescimento do PIB nacional. Para manter esta pujância e protagonismo na produção agrícola é preciso investimentos na manutenção da qualidade do solo, com destaque para a prática de uma agricultura conservacionista. Todavia, problemas como o vazio outonal, não utilização de plantas de cobertura e adubação verde juntamente com a sucessão trigo/soja são os principais responsáveis pela ineficácia do plantio direto na região noroeste do Rio Grande do Sul. Nesse contexto o trabalho teve como objetivo verificar os benefícios da rotação de culturas em áreas de produção de soja que potencializem o aporte ao solo de variadas quantidades de fitomassa a partir de modelos de produção que envolvam cereais de verão como culturas de interesse econômico e plantas de cobertura para melhoria da qualidade do solo. O estudo foi realizado em solo representativo da região noroeste do estado do Rio Grande do Sul, em área de produção de grãos manejada há mais de vinte anos sob plantio direto, com presença de camada subsuperficial degradada, manifestada por restrições de natureza física à produtividade das culturas. O ensaio de campo foi conduzido no período de maio 2018 a novembro de 2022, em delineamento de blocos ao acaso, com quatro repetições, com modelos Cultivos de produção com adições de quantidades variadas de fitomassa (uma, duas e três safras por ano agrícola). Os resultados indicam que o incremento do aporte de fitomassa, reduziu a densidade e aumentou a macro e a porosidade total do solo, causando a melhoria da qualidade do solo. Devido à alta deposição de fitomassa no solo, o tratamento que utilizou três safras por ano agrícola apresentou menores valores de resistência do solo a penetração mecânica, principalmente na camada de 0 a 7 cm de profundidade, indicando ambiente mais favorável para o desenvolvimento radicular das culturas. Em resposta às melhorias estruturais do solo houve acréscimo na produção de soja nos tratamentos com incremento do aporte de fitomassa.

**Palavras-chave:** Compactação. Fitomassa. Rotação de culturas. Rendimento de grãos.

## ABSTRACT

Agriculture is one of the most important activities for the Brazilian economy, it is one of the sectors that contributes most to the growth of the national GDP. To maintain this strength and protagonism in agricultural production, investments are needed in maintaining soil quality, with emphasis on the practice of conservationist agriculture. However, problems such as autumn emptiness, non-use of cover crops and green manure along with succession wheat/soy are the main responsible for the ineffectiveness of direct planting in the northwest region of Rio Grande do Sul. In this context, the work aimed to verify the benefits of crop rotation in soy production areas that enhance the contribution to the soil of varied quantities of phytomass from production models that involve summer cereals as crops of economic interest and cover crops to improve soil quality. The study was carried out on soil representative of the northwestern region of the state of Rio Grande do Sul, in a grain production area managed for over twenty years under direct planting, with the presence of a degraded subsurface layer, manifested by physical restrictions on crop productivity. crops. The field trial was conducted from May 2018 to November 2022, in a randomized block design, with four replications, with production models with additions of varying amounts of phytomass (one, two and three harvests per agricultural year). The results indicate that the increase in phytomass input reduced the density and increased the macro and total porosity of the soil, causing an improvement in soil quality. Due to the high deposition of phytomass in the soil, the treatment that used three harvests per agricultural year showed lower values of soil resistance to mechanical penetration, mainly in the 0 to 7 cm deep layer, indicating a more favorable environment for the root development of crops. In response to soil structural improvements, there was an increase in soybean production in treatments with increased phytomass input.

**Keywords:** Compaction. Phytomass. Crop rotation. Grain yield.

## SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO GERAL.....	8
INTRODUÇÃO.....	9
MATERIAIS E MÉTODOS.....	12
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	14
CONCLUSÕES.....	19
REFERÊNCIAS.....	20

## APRESENTAÇÃO GERAL

O Trabalho de Conclusão de Curso II que será apresentado na sequência tem como tema

Aporte de fitomassa visando incremento de produtividade da soja (*Glycine max*) e melhoria da estrutura física do solo. O estudo foi realizado na Estação Experimental da Universidade Estadual do Rio Grande do Sul (UERGS), localizada em São Luiz Gonzaga/RS, em solo representativo da região noroeste do estado do Rio Grande do Sul, manejado há longo tempo sob plantio direto, com presença de camada subsuperficial degradada, manifestada por restrições de natureza física e química à produtividade das culturas.

A utilização do monocultivo e a baixa deposição de fitomassa, resultam no aumento do estado de compactação, ocasionando acentuada estratificação das propriedades físicas do solo. Sendo assim, o objetivo deste trabalho foi verificar os benefícios de rotações de culturas que potencializem a deposição ao solo de variadas quantidades de fitomassa a partir de modelos de produção que envolvam cereais de verão como culturas de interesse econômico e adubos verdes.

O documento foi elaborado no formato de um artigo científico, seguindo as normas da Revista Brasileira de Ciência do Solo (RBCS). As recomendações gerais do periódico indicam que a submissão contenha a estrutura formal: Título, Highlights, Abstract, Palavras Chaves, Introdução, Material e Métodos, Resultados, Discussão, Conclusões, Referências e pode conter Tabelas e Figuras. Ainda com base nas normas do periódico o texto do manuscrito deve ser alinhado à esquerda, com fonte 12 e espaçamento entre linhas de 1,5. O título deve ser conciso e informativo, evitando símbolos, abreviaturas e fórmulas. Recomenda-se que contenha no máximo 20 palavras. O resumo deve ser conciso e factual, contendo no máximo 400 palavras. Nas palavras-chave apresentar até cinco palavras diferentes daquelas que constam do título. Não utilizar preposições ou conjunções, tais como “de”, “ou”, “e”. Não utilizar termos compostos por mais de três palavras. Para as referências adota-se o estilo de Vancouver adaptado. Maiores informações sobre as normas de publicação podem ser obtidas diretamente na página da Revista (<https://www.scielo.br/journal/rbcs/about/#instructions>).

## **APORTE DE FITOMASSA VISANDO INCREMENTO DE PRODUTIVIDADE E MELHORIA DA ESTRUTURA DO SOLO**

### **INTRODUÇÃO**

A agricultura é uma das atividades de maior importância para a economia brasileira, é um dos setores que mais contribui para o crescimento do PIB nacional e responde por 21% da soma de todas as riquezas produzidas, um quinto de todos os empregos e 43,2% das exportações brasileiras, chegando a US\$ 96,7 bilhões em 2019 (EMBRAPA, 2020). Segundo a Food and Agriculture Organization (FAO), em 2021, o continente americano foi responsável por 87,2% de toda a soja produzida no mundo, uma das principais commodities negociadas nos mercados internacionais. Entre os países, o Brasil produziu 135 milhões de toneladas, sendo o maior produtor mundial. Em segundo lugar, estão os Estados Unidos da América, com 121 milhões. Juntos, Brasil e Estados Unidos são responsáveis por 68,8% de toda a soja produzida no mundo (USDA, 2020).

No Brasil, frequentemente são relatados recordes de produção de grãos, principalmente nas culturas da soja (com 154,6 milhões de toneladas) e milho (131,9 milhões de toneladas) no ano agrícola de 2022/23 (CONAB, 2023). No ano de 2020 o Brasil correspondeu por 50% do comércio mundial de soja (EMBRAPA, 2021). As exportações brasileiras do grão somaram US\$ 30 bilhões, em 2020, e US\$ 346 bilhões nas duas últimas décadas. O País ainda em 2020 ocupou a terceira posição na produção mundial de milho, com 100 milhões de toneladas (8,2% do total), superado apenas pelos Estados Unidos e pela China. Nas últimas décadas, a posição relativa do Brasil não se alterou quando se considera a produção do grão, mas cresceu em termos de exportações. Entre as unidades da federação, o Rio Grande do Sul é o quarto maior produtor de soja em grão do Brasil, superado pelos Estados de Mato Grosso, Paraná e Goiás. De acordo com a Pesquisa Agrícola Municipal do IBGE (IBGE, 2022) o RS produziu 13,7 milhões de toneladas em média do grão no triênio 2020-2022.

Para manter esta pujância e protagonismo na produção agrícola é preciso investimentos na manutenção da qualidade do solo, com destaque para a prática de uma agricultura conservacionista. Visando manter a conservação do solo produtores utilizam o sistema de produção conhecido como sistema plantio direto (SPD). Segundo Fagundes et al. (2019) a adoção do SPD deve ter como preceitos básicos

a ausência de revolvimento do solo, cobertura permanente e a rotação de culturas. É extremamente importante para a agricultura que a execução do SPD ocorra preconizando todos seus princípios, em virtude da expressão social e econômica que a agricultura possui na região sendo que suas bases estão fundamentadas na sustentabilidade.

Assim como ocorre em outras regiões do Rio Grande do Sul, na região Missões (região Noroeste do estado que abrange 25 municípios) o SPD não tem sido empregado em sua plenitude, estando reduzido ao que se pode denominar de plantio na palha ou o chamado plantio direto (PD), o que tem proporcionado o retorno de problemas encontrados de solo que eram comuns no cultivo convencional (CC), como por exemplo, a erosão.

A erosão tem retornado com grande intensidade nas lavouras missioneiras, sendo fruto principalmente da utilização incompleta do SPD e não utilização de práticas complementares de conservação do solo, como terraços, plantio em contorno, etc. Além disso, problemas como o vazio outonal, não utilização de plantas de cobertura e adubação verde juntamente com a sucessão trigo/soja são os principais responsáveis pela ineficácia do plantio direto (PD).

Para que o SPD se torne um sistema viável e mantenha sua funcionalidade tanto econômica quanto ambiental é necessário que ele preconize a rotação de culturas a diversificação vegetal. A rotação de culturas consiste na alternância ordenada, cíclica e sazonal de plantas de diferentes espécies vegetais e que exploram o solo de maneira diferente, influenciando positivamente no teor de matéria orgânica do solo (HIRAKURI et al., 2012).

O cultivo de espécies com sistema radicular vigoroso e que tenham bom aporte de matéria seca pode alterar os atributos químicos, físicos e biológicos do solo. Pacheco et al. (2017) destacam também que o uso de plantas de cobertura em um plano de rotação de culturas é um dos princípios fundamentais para manter a sustentabilidade dos sistemas agrícolas, uma vez que oferecem condições favoráveis ao crescimento e desenvolvimento das culturas subsequentes. Martinez-Salgado et al. (2010) e Cecagno (2015), relatam que a utilização da rotação de culturas tem papel importante na elevação do teor de matéria orgânica, que é um dos componentes fundamentais na sustentação da biodiversidade do solo (macro e microbiana), atuando como fonte de equilíbrio na taxa de ciclagem de nutrientes, constituindo-se como um elemento essencial da produtividade dos solos.

Entretanto, quando ocorre a aplicação apenas parcial dos preceitos do SPD, evidenciam-se problemas de degradação do solo. Estes problemas evidenciam-se pela acentuada estratificação física e química do solo de 0 a 20 cm de profundidade, com formação de um perfil caracterizado por uma camada superficial com acúmulo de nutrientes e matéria orgânica sobreposta a uma camada compactada geralmente com menor conteúdo de nutrientes, mas em níveis acima do crítico e, com presença de Al em valores crescentes com a profundidade (SPERA et al., 2018). A formação de uma camada compactada em áreas de SPD pode limitar o crescimento do sistema radicular e a produtividade das culturas (OLIVEIRA et al., 2015) devido ao incremento da resistência mecânica do solo à penetração, juntamente com as alterações na distribuição do espaço poroso.

Como fator agravante a este cenário, vários produtores ainda deixam suas áreas em pousio no outono assim cultivando apenas uma cultura rentável no ano que geralmente é a soja. O pousio de inverno causa desgaste ao sistema, deixando a área livre para o desenvolvimento de plantas daninhas e com baixa taxa de cobertura do solo. Sem palhada estas áreas ficam propícias a compactação, escoamento de água, solo e nutrientes e formação de voçorocas. A utilização de sistemas conservacionistas, como o SPD empregado em sua plenitude, possibilitariam auxiliar na fertilidade do solo, alterando minimamente a sua estrutura e a biodiversidade (ARATANI et al., 2018). Em áreas que recebem duas safras ao ano (cultura de inverno e cultura de verão) a preocupação fica por conta do vazio outonal. O vazio outonal é caracterizado pela ausência de culturas em desenvolvimento por três ou quatro meses, no período compreendido entre a colheita da soja, que acontece predominantemente nos meses de fevereiro e março, até meados de junho, quando recebe a semeadura de um cereal de inverno ou planta de cobertura. Com o incremento no cultivo de sojas de ciclo de precoce e semiprecoce, as áreas com vazio outonal tem sido ampliadas nos últimos anos, causando perda adicional de qualidade do manejo dos solos na região Sul do Brasil.

Nesse contexto o trabalho teve como objetivo verificar os benefícios da rotação de culturas em áreas de produção de soja que potencializem o aporte de fitomassa ao solo a partir de modelos de produção que envolvam cereais de verão como culturas de interesse econômico e plantas de cobertura para melhoria da qualidade do solo.

## MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado na área experimental da Universidade Estadual do Rio Grande do Sul - UERGS, Campus de São Luiz Gonzaga, em solo representativo da região noroeste do estado do Rio Grande do Sul. O clima, de acordo com a classificação de Köppen, é do tipo Cfa, subtropical úmido. O experimento foi realizado em área de produção de grãos manejada há mais de vinte anos sob plantio direto, com presença de camada subsuperficial degradada, manifestada por restrições de natureza física e química à produtividade das culturas, conforme tabelas 01 e 02.

Tabela 01: Propriedades químicas do Latossolo argiloso na área de instalação do projeto de produção de grãos manejado sob sistema plantio direto.

Profundidade	% Argila	pH	SMP	P	K	M.O.	Al	Ca	Mg	H+Al
	m/v	H <sub>2</sub> O		--- mg/dm <sup>3</sup> ---		m/v	----- cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> -----			
0 a 5	48,7	6,4	6,6	61,7	268,0	3,1	0,0	10,5	4,4	2,3
5 a 10	60,3	6,3	6,4	28,2	194,7	2,1	0,0	8,4	3,7	3,0
10 a 20	69,0	5,7	6,0	5,7	71,2	1,8	0,1	5,9	2,5	4,2
20 a 40	70,7	5,3	6,1	1,2	30,2	1,6	0,4	3,5	1,5	3,8

Tabela 02: Propriedades físicas do Latossolo argiloso na área de instalação do projeto de produção de grãos manejado sob sistema plantio direto

Profundidade do solo (cm)	Densidade g/cm <sup>3</sup>	Porosidade Total	Microporosidade	Macroporosidade
			----- cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup> -----	
0 a 7	1,24	0,53	0,38	0,15
7 a 15	1,41	0,49	0,40	0,09
15 a 25	1,34	0,49	0,40	0,08

O ensaio de campo foi conduzido no período de maio 2018 a novembro de 2022, em delineamento de blocos ao acaso, com quatro repetições. Os modelos de produção adotados, que configuram os tratamentos do estudo, contemplaram as seguintes culturas:

- Uma safra ao ano: aveia preta (*Avena strigosa*) no inverno/2018; soja [*Glycine max* (L.) Merr.] no verão/2019; pousio no restante do ano de 2019; soja no verão/2020; pousio no restante do ano de 2020; soja no verão/2021; pousio no restante do ano de 2021;
- Duas safras ao ano: aveia no inverno/2018; soja no verão/2019; aveia preta no inverno/2019; soja no verão/2020; trigo (*Triticum*

aestivum L.) no inverno/2020; soja verão/2021; Aveia no inverno/2021; soja no verão/2022; Aveia no inverno/2022;

- Três safras ao ano: aveia no inverno/2018; milho (Zea mays) + braquiária (Brachiaria) no verão/2019; aveia + azevém (Lolium multiflorum) no inverno/2019; milho + braquiária no verão/2020; trigo no inverno/2020; soja no verão/2021; Aveia no inverno/2021; Milho + braquiária no verão de 2022; trigo no inverno/2022.

O efeito dos tratamentos sobre atributos físicos foi avaliado no perfil de 0 a 0,25 m de profundidade, a partir de amostras de solo coletadas em três profundidades, oriundas de camadas com estrutura de solo homogênea, identificadas pela técnica do perfil cultural (TAVARES FILHO et al., 1999). De acordo com este método, considera-se como camada superficial, a camada de estrutura granular solta e com maior concentração de raízes, aproximadamente de 0 a 0,07 m; como segunda camada, considera-se aquela que apresenta estrutura maciça com reduzida concentração de raízes, aproximadamente de 0,07 a 0,15m; como terceira camada, considera-se aquela que apresenta estrutura típica de Latossolo, com pequena presença de raízes, aproximadamente 0,15 a 0,25 m.

Foram avaliados os parâmetros densidade do solo e distribuição do tamanho de poros pelo método do anel volumétrico (EMBRAPA, 1997) e mesa de tensão. A macroporosidade foi calculada pelo volume de água retirado da amostra desde a saturação até a tensão de 60 KPa e a microporosidade corresponderá ao restante de água que fica na amostra, a qual será extraída em estufa a 105°C por 24 horas. A densidade do solo, por sua vez, foi determinada pela relação entre a massa de solo seco e o volume do anel.

Após ser atingida a tensão de 60 kPa na mesa de tensão, as amostras foram novamente saturadas por capilaridade para avaliação da condutividade hidráulica do solo saturado. Para tanto, foi utilizado permeâmetro de carga constante (LIBARDI, 2005), sendo a condutividade hidráulica calculada pela equação:

$$K_{sat} = \frac{q \times l}{A \times h \times t}$$

Em que:  $K_{sat}$  = é a condutividade hidráulica saturada em  $cm\ h^{-1}$ ;  $q$  = é o volume percolado pela amostra em  $cm^3$ ;  $l$  = é a altura da amostra em  $cm$ ;  $A$  = é a área da amostra de solo em  $cm^2$ ;  $h$  = é a altura da amostra mais a altura da lâmina de água aplicada em  $cm$ ;  $t$  = é o tempo de medição em  $h$ .

A resistência do solo a penetração mecânica foi avaliada a campo com auxílio de um penetrômetro georreferenciado, seguindo as normas ASAE S 313.3, sendo a resistência aferida até uma profundidade de 0,40 m. As avaliações foram realizadas em novembro de 2022, antecedendo a semeadura da soja, em solo com umidade equivalente capacidade de campo, após chuva de 75mm nos dias que antecederam as avaliações com a presença de chuva nos dias 12/11/2022 com a quantidade pluviométrica de 50mm e dia 13/11/2022 com a quantidade de 25mm que antecederam a avaliação no dia 14 de novembro.

A cultivar utilizada foi a DONMARIO - DMC 5958 RSF IPRO, e foram avaliados os componentes do rendimento de número de grãos por vagem, número de vagens por planta, peso de mil grãos e rendimento de grãos da soja na safra 2021. O rendimento de grãos da soja ( $Kg/ha$ ) foi avaliado em uma área de um metro quadrado de cada parcela, e a umidade corrigida a 13%.

Os resultados foram comparados pelo teste de Tukey ( $p$ ) ao nível de 10% de erro. Todas as análises foram realizadas no pacote estatístico Sisvar.

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **Propriedades físicas do solo**

O efeito do aporte de fitomassa sobre as propriedades físicas do solo foi verificado de maneira mais expressiva na camada superficial do solo. Assim, na camada compreendida entre 0 e 7 cm observou-se redução de densidade do solo (Figura 1A) e aumento da porosidade total (Figura 1B) e da macroporidade do solo (Figura 1C), o que pode ter decorrido da maior atividade biológica associada ao uso de plantas com sistemas radiculares diversificados. Essa hipótese é reforçada pelo fato dos benefícios sobre essas propriedades físicas do solo terem sido maiores no tratamento que utilizou três safras por ano agrícola.

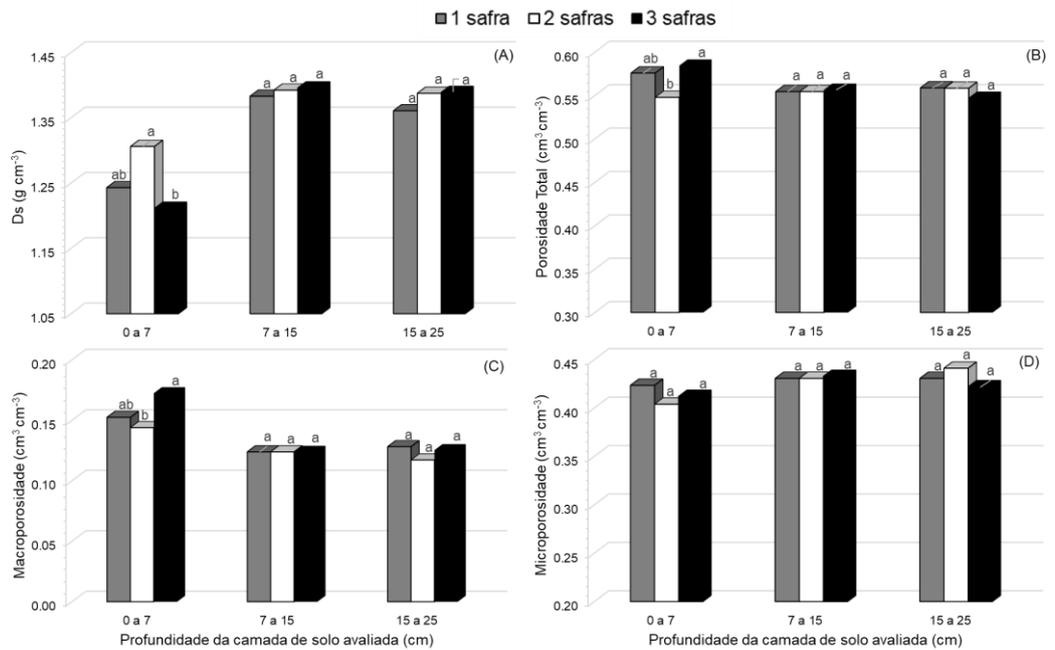
Os poros do solo correspondem, portanto, ao espaço onde ocorrem os processos dinâmicos do ar e da solução do solo (RIBEIRO et al., 2007), a quantidade de espaço poroso disponível é usada como fator para avaliar a sustentabilidade do

solo como meio para a raiz da planta (TROEH & THOMPSON, 2007). Ribeiro et al. (2007) afirmaram que a porosidade do solo interfere na aeração, condução e retenção de água, resistência à penetração e à ramificação das raízes no solo e, conseqüentemente, no aproveitamento de água e nutrientes disponíveis. O solo ideal deve apresentar volume e dimensão dos poros adequados para a entrada, movimento e retenção de água e ar para atender às necessidades das culturas.

Para Assis et al. (2009), a porosidade de um solo deve estar em torno de 50%, com 17% de macroporos, responsáveis pela infiltração de água no solo e 33% de microporos, responsáveis pelo armazenamento de água no solo. Dexter (2004), a degradação da estrutura do solo resulta na sua compactação, o que ocasiona redução do volume de macroporos e mudanças na continuidade e distribuição de poros. (KIEHL, 1979) cita que a microporosidade se refere aos poros capazes de exercer função de retenção de água e transporte de solutos por capilaridade Enquanto que a macroporosidade influencia diretamente a capacidade de infiltração, na drenabilidade do solo e na sua capacidade de aeração (HILLEL, 1998; RICHART et al., 2005). A compactação do solo acarreta a redução do espaço poroso, principalmente dos macroporos, o que afeta as propriedades físico-hídricas do solo (KLEIN, 2012). Para um bom desenvolvimento as plantas necessitam no mínimo de 6 a 20% de macroporos, sendo que a variação depende do tipo de solo (HILLEL, 1970; KLEIN, 2012).

Segundo Grable e Siemer (1968) o volume mínimo de macroporos necessário ao crescimento e desenvolvimento satisfatório do sistema radicular, ou seja, que caracterizaria um ambiente favorável as culturas corresponde a  $0,1 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ . Ao assumir esse valor como valor restritivo percebe-se que em nenhum tratamento, independente da camada avaliada, valores críticos de macroporosidade foram atingidos. Entretanto, ao considerar a importância dos macroporos para o movimento de ar e água atenta-se que há uma elevada redução da macroporosidade da camada superficial para a camada de 7 a 15 cm de profundidade.

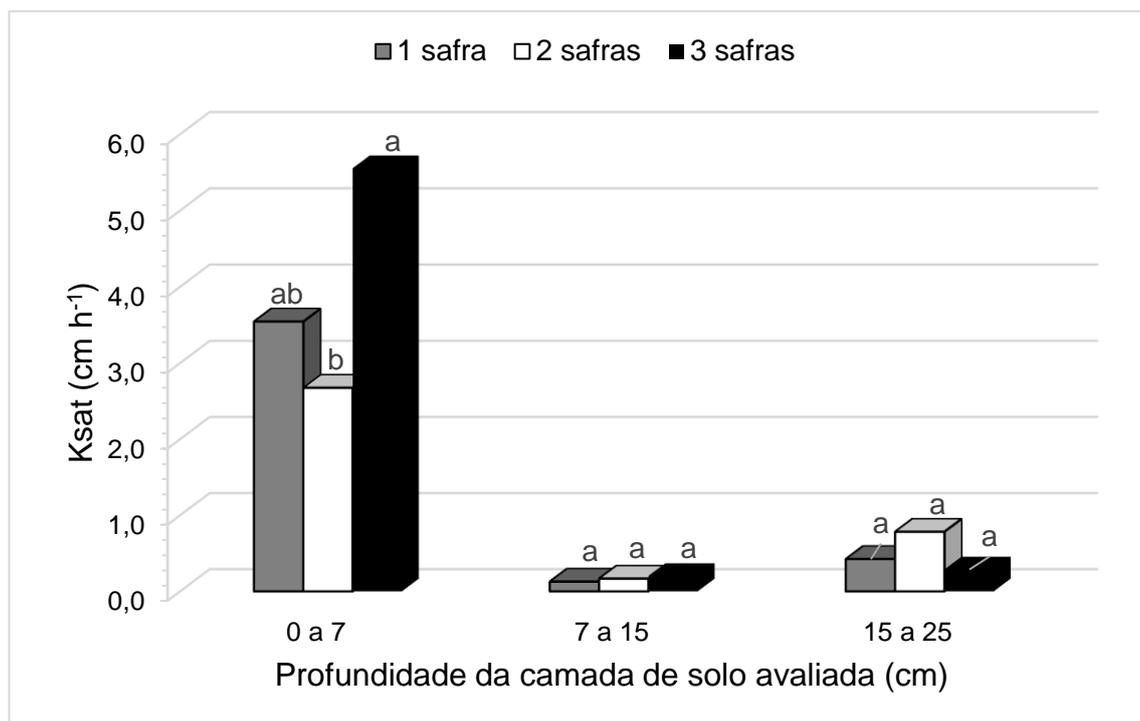
Figura 01: Propriedades físicas do solo Densidade ( $D_s$ ) ( $\text{g cm}^{-3}$ )(A); Porosidade total ( $\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ ) (B); Macroporosidade ( $\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ ) (C) e Microporosidade ( $\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ ) (D) de um Latossolo argiloso em área de produção de grãos manejada sob sistema plantio direto cultivado com baixo, medio e alto aporte de fitomassa por ano agrícola.



\*médias seguidas pela mesma letra minúscula não diferem entre si, dentro de cada camada de solo avaliada, pelo teste de Tukey ao nível de 10% de probabilidade de erro.

As diferenças observadas no comportamento da porosidade do solo (total e macroporosidade) influenciaram diretamente o comportamento da condutividade hidráulica do solo saturado (Figura 02). Foram observados maiores valores da Ksat na camada de 0 a 7cm. Ao comparar o efeito dos tratamentos com uma duas ou tres safras por ano agrícola, percebe-se que a inclusão de modelos de produção com alto aporte de fitomassa (três safras) promoveram aumento da Ksat. A Ksat é utilizada para descrever a taxa de infiltração, movimento e transporte de solutos (Blanco e Canqui et al., 2017), assim como a capacidade de retenção e/ou escoamento superficial no perfil do solo (Zhao et al., 2016). Dessa forma, os incrementos da Ksat podem repercutir em maior infiltração e redistribuição de água no perfil do solo.

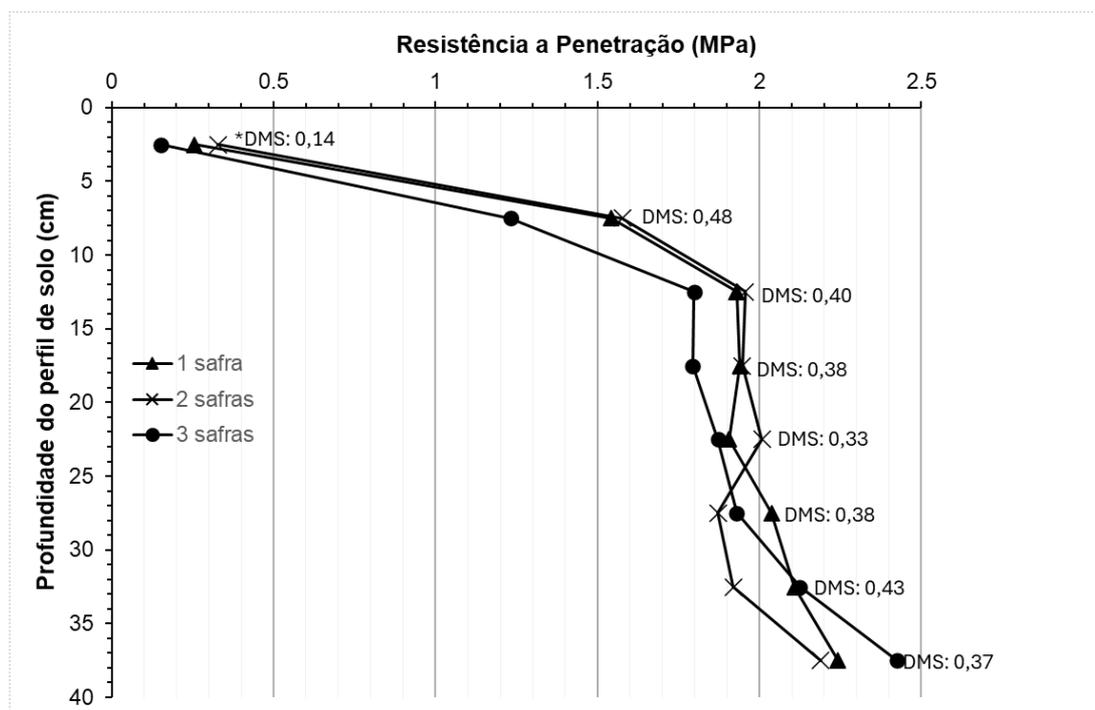
Figura 02: Condutividade Hidráulica do solo saturado (Ksat) (cm h<sup>-1</sup>) de Latossolo argiloso em área de produção de grãos sob sistema plantio direto cultivado com uma, duas e três safras por ano agrícola.



\*médias seguidas pela mesma letra minúscula não diferem entre si, dentro de cada camada de solo avaliada, pelo teste de Tukey ao nível de 10% de probabilidade de erro.

Os benefícios do aporte de fitomassa sobre a estrutura do solo foram verificados também na resistência do solo a penetração mecânica (Figura 3). Observa-se que o tratamento com tres safras por ano agricola manteve menores valores de resistência a penetração até a camada de 20 cm de profundidade. Vale observar também que a partir de 12 cm de profundidade os valores de RP se aproximam de 2MPa nos tratamentos com baixo e médio aporte de fitomassa, enquanto apenas próximo a 30 cm de profundidade isso ocorre no tratatmento com alto aporte de fitomassa. Esse resultado é importante uma vez que valores de RP superiores a 2MPa são considerados restritivos ao crescimento radicular da maioria das culturas, como citado Reinert et al. (2008) valores de RP acima de 2 MPa já são críticos ao crescimento radicular, interferindo na produtividade das plantas. Outros autores como (Taylor & Burnett, 1964; Gupta & Allmaras, 1987; Vepraskas, 1994) citam que valores de resistência mecânica do solo entre 2 MPa e 3 MPa são considerados limitantes ao desenvolvimento radicular para várias culturas anuais, como trigo, milho e algodão.

Figura 03: Resistência de Latossolo argiloso à penetração mecânica em área de produção de grãos sob sistema plantio direto cultivado com uma, duas e três safras por ano agrícola. (Gráfico elaborado com dados médios de cada tratamento).



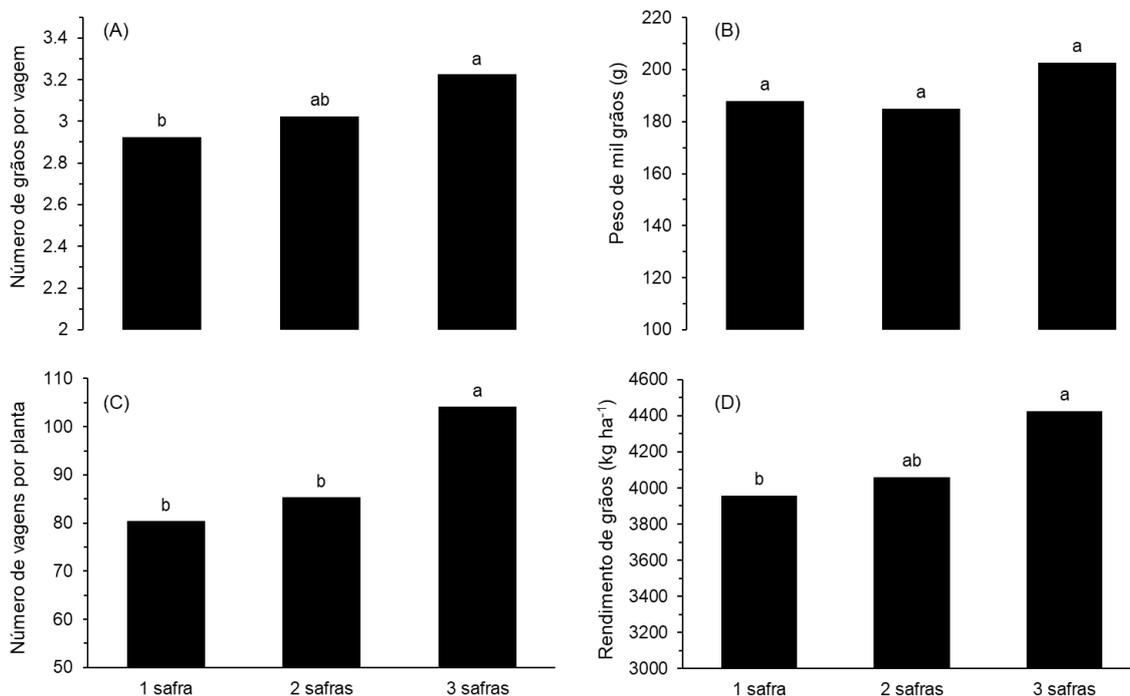
\*DMS indica a diferença mínima significativa para existência de diferenças entre os tratamentos pelo teste de Tukey ao nível de 10% de probabilidade de erro, dentro de cada profundidade de solo avaliada.

### Rendimento da Soja

Ao avaliar os componentes do rendimento da soja (Figura 4) percebe-se que o único componente que não foi afetado pelos tratamentos foi o peso de mil grãos (Figura 4B). Esse resultado era de certa forma esperado, visto que o PMS é uma característica muito influenciada pela genética da cultura e, portanto, afetada pela cultivar, a cultivar DM 5958 tem PMS médio em 172g.

O número de grãos por vagem (Figura 4A) e o número de vagens por planta (Figura 4C) tiveram o mesmo comportamento que o rendimento de grãos (Figura 4D), em que efeitos da rotação de culturas implicaram, respectivamente, em 66, 70 e 75 sacas por hectare nas áreas de baixo, médio e alto aporte de fitomassa.

Figura 04: Número de grãos por vagem (A), número de vagens por planta (B), peso de mil grãos (C) e rendimento de grãos de soja sob sistema plantio direto em área cultivada com uma, duas e três safras por ano agrícola.



\*médias seguidas pela mesma letra minúscula não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 10% de probabilidade de erro.

## CONCLUSÕES

Modelos de produção com duas e três safras ao ano possibilitam o incremento fitomassa o que reduziu a densidade e aumentou a macro e a porosidade do solo, causando a melhoria da qualidade do solo.

Devido à alta deposição de fitomassa no solo, o tratamento que utilizou três safras por ano agrícola apresentou menores valores de resistência do solo a penetração mecânica, principalmente na camada de 0 a 7 cm de profundidade, indicando ambiente mais favorável para o desenvolvimento radicular das culturas.

A produtividade da soja respondeu favoravelmente ao aporte de fitomassa, de modo que onde havia a presença de rotação de culturas houve incremento de produção.

## REFERÊNCIAS

ARATANI; R. G.; MADALOSSO, G.; POMPEU, A. T. Percepção e prática do sistema plantio direto por agricultores mato-grossenses. **Revista de Ciências Agroambientais**, v. 16, n. 1, p. 1-7, 2018.

ASSIS, R.L.; CARGNELUTTI FILHO, A.; LANÇAS, K.P.; LAZARINI, G.D. Avaliação da resistência do solo à penetração em diferentes solos com a variação do teor de água. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 29, n. 4, 2009.

BRADY, N. C. Natureza e propriedades dos solos. 5. ed. São Paulo: F. Bastos, 1979. 647 p.

BLANCO-CANQUI, Humberto et al. Long-term tillage impact on soil hydraulic properties. **Soil and Tillage Research**, v. 170, p. 38-42, 2017.

CECAGNO, D. Carbono Orgânico do solo em sistema integrado de produção agropecuária. 2015, 70 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo). Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRJ. Porto Alegre-RS.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos, Brasília, DF, v. 10, safra 2022/23, n. 12 décimo segundo levantamento, setembro 2023. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos>>.

DEBIASI, H.; FRANCHINI, J. C.; CONTE, O.; BALBINOT JUNIOR, A. A.; TORRES, E.; SARAIVA, O. F.; OLIVEIRA, M. C. N. Sistemas de preparo do solo: trinta anos de pesquisas na Embrapa Soja. Londrina: Embrapa Soja, 2013. 72p. (Documentos /Embrapa Soja, 342).

DENARDIN, J.E. Boletim Técnico Informativo - Sistema Plantio Direto. Org. Comitê Gestor Estadual da Agricultura de Baixa Emissão de Carbono – CGE ABC /RS. 2018. Disponível em: . Acesso em 02 de janeiro de 2019.

DRESCHER, M.S.; REINERT D.J.; DENARDIN J.E.; GUBIANI, P.I.; FAGANELLO, A.; DRESCHER, G.L. Duração das alterações nas propriedades físico-hídricas de Latossolo argiloso decorrentes da escarificação mecânica. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 51:159-168, 2016.

DEXTER, A.R. Soil physical quality. Part I. Theory, effects of soil texture, density, and organic matter, and effects on root growth. **Geoderma**, 120:201-214, 2004.

EMBRAPA <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/62619259/brasil-e-o-quarto-maior-produtor-de-graos-e-o-maior-exportador-de-carne-bovina-do-mundo-diz-estudo>

EMBRAPA - VII Plano Diretor da Embrapa 2020-2030, Pag 07, <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1126091/vii-plano-diretor-da-embrapa-2020-2030>

FAGUNDES, M. O.; REIS, D. A.; PORTELLA, R. B.; PERINA, F. J.; BOGIANI, J. C. Qualidade de um latossolo sob plantio convencional e sistema plantio direto no cerrado baiano, Brasil. **Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais**, v.10, n.3, p.281- 297, 2019.

FERREIRA, A. O.; AMADO, T. J. C.; RICE, C. O plantio direto em fase de manutenção recupera o estoque de carbono original do solo: Um panorama das áreas pioneiras sob plantio direto no Rio Grande do Sul. **Revista Plantio Direto**, v. 3, p. 12, 2015.

GRABLE AR, SIEMER EG. Effects of bulk density, aggregate size, and soil water suction on oxygen diffusion, redox potential and elongation of corn roots. **Soil Science Society of American Journal**. 32: 180-186. 1968. [doi.org/10.2136/sssaj1968.03615995003200020011x](https://doi.org/10.2136/sssaj1968.03615995003200020011x)

GUPTA, S.C.; ALLMARAS, R.R. Models to assess the susceptibility of soils to excessive compaction. **Advances in Soil Sciences**, New York, v.6, p.65-100, 1987.

KIEHL, E. J. Manual de Edafologia. Relações solo-planta. Editora Agronômica Ceres. São Paulo. 1979.

KLEIN, V. A. Física do solo. 2ª Edição. Editora Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo/RS, 2012, 240 p.

KOITER, A. J. et al. The role of soil surface properties on the particle size and carbon selectivity of interrill erosion in agricultural landscapes. **Catena**, v. 153, p. 194-206, 2017.

LIMA, L. Efeito das plantas de cobertura em Sistema de Plantio Direto. ENCICLOPÉDIA BIOSFERA, v. 10, n. 18, 2014

MARTINEZ-SALGADO, M. M.; GUTIERREZ-ROMERO, V.; JANNSENS, M.; ORTEGA-BLU, R. Biological soil quality indicators: a review. In: MENDEZ-VILAS, A. (Ed.). Current research, technology and education topics in applied microbiology and microbial biotechnology. **Formatex Research Center**. Extremadura: Formatex Research Center ,2010. p. 319–328.

MENANDRO, LMS; MORAES, LÓ de; BORGES, CD; CHERUBIN, MR; CASTIONI, GA; CARVALHO, JLN Respostas da macrofauna do solo à remoção da palha da cana-

de-açúcar para produção de bioenergia. **Pesquisa em Bioenergia**, v. 4, pág. 944-957, 2019.

MENDES, I. C.; CHAER, G. M.; REIS JUNIOR, F. B.; SOUZA, D. M. G.; DANTAS, O. D.; OLIVEIRA, M. I. L.; MALAQUIAS, J. V. Tecnologia BioAS: uma maneira simples e eficiente de avaliar a saúdedo solo. Embrapa Cerrados, et al. Planaltina, DF, 2021.

OLIVEIRA, D.M.S; LIMA, R.P.; VERBURG, E.E.J. Qualidade física do solo sob diferentes sistemas de manejo e aplicação de jato líquido suíno. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 19:280-285.

PACHECO, L.P.; MIGUEL, A.S.D.C.S.; SILVA, R.G.D.; SOUZA, E.D.D.; PETTER, F.A.; KAPPES, C. Biomass yield in production systems of soybean sown in succession to annual crops and cover crops. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 52, 582-591. 2017.

RIBON, A.A.; CENTURION, J.F.; CENTURION, M.A.P.C; CARVALHO FILHO, A. Propriedades físicas de Latossolo e Argissolo em função de práticas de manejo aplicadas na entrelinha da cultura da seringueira (*Hevea brasiliensis*). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 26:781-787, 2002.

TAVARES FILHO, J.; GUIMARÃES, M.F.; RALISCH, R.; MEDINA, C.C.; DERSIGNY, C.G.; VISINTIN, L.M.B. Utilização do método do perfil cultural para avaliação do desenvolvimento de uma cultura. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 23., Porto Alegre, 1991. Resumos. Porto Alegre, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1991. p.142.

REINERT, D.J. et al. Limites críticos de densidade do solo para o crescimento de raízes de plantas de cobertura em Argissolo Vermelho. *R. Bras. Ci. Solo*, 32:1805-1816, 2008. Disponível em: , acesso em 23/03/2015.

RIBEIRO, K.D.; MENEZES, S.M.; MESQUITA, M.G.B.F.; SAMPAIO, F.M.T. Propriedades físicas do solo, influenciadas pela distribuição de poros, de seis classes de solos da região de Lavras - MG. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.31, n.4, p.1167-1175, 2007.

RICHART, A. et al. Compactação do solo: Causas e efeitos. *Semina: Ciências Agrárias*, Londrina, v. 26, n. 3, p. 321-344, jul./set. 2005. Disponível em: <https://ojs.uel.br/revistas/uel/index.php/semagrarias/article/view/2319/1997> , acesso em 12/07/2024.

TROEH, F.R.; THOMPSON, L.M. Solos e fertilidade do solo. 6. ed. São Paulo: Andrei, 2007. 718p.

SPERA, S.T. et al. Estratificação química e física em solos manejados com sistema plantio direto em Mato Grosso - entraves à produção das culturas. Sinop, MT: Embrapa, 2018. PDF (34 p.). Disponível em:<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/187530/1/2018-cpamt-silvio-spra-escarificacao-quimicafisica-solo-manejo-plantio-direto-mato-grosso.pdf>.

Acesso em 02 de janeiro de 2019.

TAYLOR, H.M.; BURNETT, E. Influence of soil strength on root growth habits of plants. **Soil Science**, Baltimore, v.98, p.174-180, 1964.

VEPRASKAS, M.J. Plant response mechanisms to soil compaction. In: WILKINSON, R. (Ed.). **Plant environment interactions New York** : M. Dekker, 1994. p.263-287.

VOMOCIL, J.A.; FLOCKER, W.J. Effects of soil compaction on storage and movement of soil, air and water. **American Society Agricultural Engineering**, 4:242-246. 1966.

ZHAO, C. et al. Using pedotransfer functions to estimate soil hydraulic conductivity in the Loess Plateau of China. **Catena**, v. 143, p. 1-6, 2016.