

**UniRV- UNIVERSIDADE DE RIO VERDE**  
**FACULDADE DE AGRONOMIA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PRODUÇÃO VEGETAL**

**ALTERAÇÕES FÍSICAS DO SOLO E DESEMPENHO DA SOJA NO  
CERRADO SOB DIFERENTES MECANISMOS DE ABERTURA DE  
SULCO DE SEMEADURA**

**VÍVIAN RIBEIRO DE OLIVEIRA PRETO**

*Magister Scientiae*

**RIO VERDE**  
**GOIÁS – BRASIL**  
**2023**

**VÍVIAN RIBEIRO DE OLIVEIRA PRETO**

**ALTERAÇÕES FÍSICAS DO SOLO E DESEMPENHO DA SOJA NO CERRADO  
SOB DIFERENTES MECANISMOS DE ABERTURA DE SULCO DE SEMEADURA**

Dissertação apresentada à UniRV – Universidade de Rio Verde, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, para a obtenção do título de *Magister Scientiae*.

**RIO VERDE  
GOIÁS - BRASIL**

**2023**

Universidade de Rio Verde  
Biblioteca Luiza Carlinda de Oliveira  
Dados Internacionais de Catalogação na Publicação – (CIP)

P941a Preto, Vívian Ribeiro de Oliveira

Alterações físicas do solo e desempenho da soja no cerrado sob diferentes mecanismos de abertura de sulco de semeadura. / Vívian Ribeiro de Oliveira Preto. – 2023.

40 f.: il.

Orientadora: Profa. Dra. Camila Jorge Bernabé Ferreira.  
Coorientador. Prof. Dr. André Luiz Biscaia Ribeiro da Silva.

Dissertação (Mestrado) — Universidade de Rio Verde - UniRV, Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, Faculdade de Agronomia, 2023.

Contém índice de figuras.

1. *Glycine max*. 2. Haste sulcadora. 3. Estudo do solo. 4. Descompactação mecânica. I. Ferreira, Camila Jorge Bernabé. II. Silva, André Luiz Biscaia Ribeiro da. III. Título.

CDD: 631.4

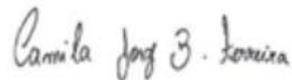
Bibliotecário: Juatan Tiago da Silva – CRB 1/3158

VÍVIAN RIBEIRO DE OLIVEIRA PRETO

**ALTERAÇÕES FÍSICAS DO SOLO E DESEMPENHO DA SOJA NO CERRADO  
SOB DIFERENTES MECANISMOS DE ABERTURA DE SULCO DE SEMEADURA**

Dissertação apresentada à UniRV – Universidade de Rio Verde, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVAÇÃO: 30 de agosto de 2023



---

Profa. Dra. Camila Jorge Bernabé Ferreira  
Presidente da Banca Examinadora  
Membro – FA/UniRV



---

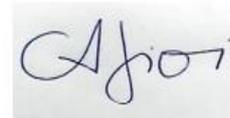
Prof. Dr. Eduardo Lima do Carmo  
Membro - FA/UniRV



---

Profa. Dra. Juliana Silva Rodrigues Cabral  
Membro - FA/UniRV

Documento assinado digitalmente  
 LEONARDO DE CASTRO SANTOS  
Data: 05/09/2023 15:12:12-0300  
Verifique em <https://validar.it.gov.br>



---

Prof. Dr. Leonardo de Castro Santos  
Membro Externo – IF Goiano Rio Verde

---

Dr. Guilherme Anghinoni  
Membro Externo – SomaField

## DEDICATÓRIA

Dedico o presente trabalho à Deus, que colocou este sonho em meu coração, provendo tudo o precisei durante esta jornada, para que o propósito em minha vida, fosse cumprido diariamente.

Dedico ainda à melhor Orientadora que um aluno pode ter, Dra. Camila Ferreira, por ser a professora mais humana e ímpar que já conheci, que não me colocou em molde limitante e rígido, mas por estar além, ter visão, alinhando a orientação acadêmica aos meus anseios profissionais, sendo a principal responsável por hoje eu estou vivendo um dos meus maiores objetivos de carreira até aqui. Com tudo isso, deixo claro que o meu “sonho de princesa” é ver a educação brasileira contaminada, por professores como você Camila, que extraem o melhor de cada um.

## EPÍGRAFE

*“Não é o que você fará que transformará a humanidade, mas quem você é no lugar em que Deus o colocou e a intensidade com que você brilha nesse lugar. Não é um potencial de realização, mas um testemunho de orientação.”*

*Paulo Borges Júnior*

## AGRADECIMENTOS

A Deus, que em sua infinita graça, amor e misericórdia, provê tudo que preciso para cumprir meu ideal, “ser quem Ele me chamou para ser, onde Ele me planta!”

Sou infinitamente grata aos meus pais Joelma (Mema) e Alberto (Papito), que durante toda a minha trajetória me apoiaram, encorajaram e nunca soltando a minha mão.

A minhas amigas Jessica e Bianca, que sempre acreditaram em mim, me animaram e me acolheram em cada etapa.

Ao financiamento concedido pela UniRV através da Taxa da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

A empresa Solubio, que permitiu meu estudo enquanto conciliava com meu trabalho.

Ao Dr. André da Silva de *Auburn University*, pela oportunidade concedida nos Estados Unidos da América, como *Research Scholar*.

Aos amigos e mestres, que o mestrado me apresentou durante esses dois anos, os quais eu tive o prazer de caminhar e aprender durante esta jornada.

O meu muito obrigada, por participarem e vibrarem com a minha conquista.

Gratidão!

## BIOGRAFIA

Vívian Ribeiro de Oliveira Preto nasceu no estado de São Paulo, na cidade de Bragança Paulista. Possui graduação em Gestão Ambiental, pela Universidade São Francisco, e Engenharia Agrônômica pela Universidade de Cuiabá.

Em agosto de 2021, ingressou no Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal (PPGPV) da UniRV, em nível de Mestrado (*Stricto sensu*) na área de concentração Manejo de Solos, sob à orientação da Profa. Dra. Camila Jorge Bernabé Ferreira. Atualmente é *Research Scholar* no Departamento de Horticultura da *Auburn University* situada em Auburn, Alabama, EUA.

Tem experiência na área de física do solo, produção de hortaliças, exportação de frutas tropicais, controle fitossanitário de grãos armazenados, auditoria agrícola, produção de sementes de soja, tecnologia de aplicação, tratamento de sementes e bioinsumos.

## SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	iv
RESUMO.....	v
ABSTRACT.....	vi
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	3
2.1 Cultura da soja.....	3
2.2 O sistema plantio direto.....	4
2.3 Alterações físicas do solo.....	4
2.4 Mecanismos de abertura de sulco de semeadura.....	6
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	7
3.1 Área experimental.....	7
3.2 Caracterização dos tratamentos.....	8
3.3 Avaliações físicas do solo.....	10
3.4 Avaliações agronômicas na cultura da soja.....	12
3.5 Análises estatísticas.....	13
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	13
4.1 Propriedades físicas do solo.....	13
4.2 Respostas agronômicas da soja.....	16
4.3 Relação das características do solo com a cultura da soja.....	20
5 CONCLUSÃO.....	21
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	22

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1	Temperatura média e precipitações observadas durante o período de condução a campo do experimento realizado com soja em solo semeado com haste e disco. Rio Verde (GO), 2021/2022. Total acumulado de chuva = 846 mm.....	8
FIGURA 2	Imagens dos mecanismos de abertura do tipo discos duplos (a) e hastes sulcadoras (b).....	9
FIGURA 3	Croqui da área experimental na Universidade de Rio Verde. Rio Verde, Goiás.....	10
FIGURA 4	Condutividade hidráulica saturada (Ksat) na camada de 0-0,1 m em solo utilizando os mecanismos de abertura de sulco de semeadura haste e disco nas posições de amostragens linha e entrelinha. Rio Verde (GO), 2021/2022.....	14
FIGURA 5	Capacidade de campo, capacidade de aeração, porosidade total e densidade do solo na camada de 0-0,1 m utilizando os mecanismos de abertura de sulco de semeadura haste e disco. Rio Verde (GO), 2021/2022.....	15
FIGURA 6	Resistência do solo a penetração na camada de 0-0,1 m utilizando os mecanismos de abertura de sulco de semeadura haste e disco. Rio Verde (GO), 2021/2022.....	16
FIGURA 7	Estande inicial e final de plantas de soja utilizando os mecanismos de abertura de sulco de semeadura haste e disco. Rio Verde (GO), 2021/2022.....	17
FIGURA 8	Altura inicial e final de plantas de soja utilizando os mecanismos de abertura de sulco de semeadura haste e disco. Rio Verde (GO), 2021/2022.....	18
FIGURA 9	Massa de 100 grãos e número de vagens de plantas de soja semeadas utilizando os mecanismos de abertura de sulco de semeadura haste e disco. Rio Verde (GO), 2021/2022.....	19
	Produtividade de soja utilizando os mecanismos de abertura de sulco de semeadura haste e disco. Rio Verde (GO), 2021/2022.....	20

## RESUMO

PRETO, V.R.O. **Dinâmica das alterações físicas do solo em plantio direto no Cerrado sob diferentes mecanismos de abertura de sulco de semeadura**. 2023, 40p. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal), Universidade de Rio Verde, Rio Verde - GO, 2023.

Mesmo com baixa movimentação do solo no sistema plantio direto (SPD), é inevitável que o tráfego de máquinas gere compactação do solo, em camadas superficiais, limitando a produção agrícola da soja em áreas de Cerrado brasileiro, em virtude do aumento da resistência à penetração das raízes, e conseqüentemente limitando capacidade de planta em se desenvolver acessar água e nutrientes em profundidade, o que reflete em limitação produtiva. Semeadoras equipadas com hastes sulcadoras podem ser uma opção econômica para superar a compactação superficial em solo sob SPD e melhorar a performance da cultura. Neste sentido, objetivou-se com esse trabalho:(1) quantificar as mudanças nos indicadores de qualidade física do solo e respostas da cultura da soja utilizando mecanismos de abertura de sulco de semeadura do tipo haste sulcadora e discos duplos em solo do Cerrado; (2) avaliar o potencial das hastes sulcadoras em romper a camada superficial de solo compactada em SPD sob solo do Cerrado; 3) avaliar se os efeitos da movimentação do solo na linha de semeadura causado pelos mecanismos de abertura de sulco persistem durante a safra da soja. O presente trabalho foi realizado no período correspondente à safra de verão de 2021/2022, através de delineamento em blocos casualizados (DBC). Foram comparados dois mecanismos de abertura de sulco de semeadura tipo haste e tipo discos duplos, na profundidade de 0,1 m com três repetições e três amostras por repetições para composição do experimento. Foram realizadas duas avaliações de condutividade hidráulica saturada e ao final do experimento foram coletadas duas amostras indeformadas de solos, da linha e a da entrelinha da camada superficial (0,00-0,10 m) de cada unidade experimental, para determinação: da densidade do solo, porosidade total, capacidade de campo, capacidade de aeração do solo, e resistência à penetração. Ao longo do desenvolvimento da cultura foram avaliadas também, características agrônômicas e produtividade de soja. A utilização de haste sulcadora apresentou melhor condutividade hidráulica saturada no solo e maior densidade deste, além de reduzir a resistência a penetração em 25% comparado ao uso de discos duplos. Para as características agrônômicas da soja, o uso de disco refletiu em: menor população de plantas, altura inicial e massa de cem grãos da cultura da soja. Não houve efeito dos mecanismos sulcadores sobre a produtividade da soja, por ter apresentado boa distribuição hídrica de chuva.

**Palavras-chave:** *Glycine max*. Haste sulcadora. Qualidade física do solo. Descompactação mecânica.

## ABSTRACT

PRETO, V.R.O. **Dynamics of soil physical changes in no-tillage in Brazilian Cerrado under different seeding furrow opening mechanisms.** 2023, 40 p. Dissertation (Master in Crop Production), Universidade de Rio Verde, Rio Verde - GO, 2023.

Even with the low movement of the soil in the no-tillage system (SPD), it is inevitable that the traffic of machines generates the compaction of the soil in intermediate channels, limiting the agricultural production of soybean in areas of the Brazilian Cerrado, due to the increase in resistance to root penetration, and consequently limited plant capacity to develop and access water and nutrients in depth, which reflects in productive limitation. Seeders equipped with furrow shanks can be an economical option to overcome surface compaction in soil under NTS and improve crop performance. In this sense, the objective of this work was:(1) to quantify the changes in soil physical quality indicators and response of the soybean crop using seeding furrow opening keying of the furrowing rod type and double discs in Cerrado soil; (2) evaluate the potential of furrowing shanks to break surface layers of compacted soil in NTS under Cerrado soil; 3) Evaluate whether the effects of soil movement in the sowing row caused by furrow opening movement persist during the soybean harvest. The present work was carried out in the period corresponding to the 2021/2022 summer crop, using a randomized block design (DBC). Two hash-type and double disc-type sowing furrow switches were compared, at a depth of 0.1 m with three replications and three examples per experiments for the composition of the experiment. Two estimates of saturated hydraulic conductivity were carried out and, at the end of the experiment, two informed samples of soils were collected, from the line and between the lines of the superficial layer (0.00-0.10 m) of each experimental unit, for density density soil content, total porosity, field capacity, soil aeration capacity, and resistance to penetration. Throughout the development of the crop, agronomic characteristics and soybean productivity were also considered. The use of a furrow rod showed better hydraulic conductivity in the soil and higher soil density, in addition to reducing penetration resistance by 25% compared to the use of double discs. For the agronomic characteristics of soybean, the use of disc reflected in lower plant population, initial height and mass of one hundred grains of the soybean crop. There was no effect of furrow switches on soybean productivity because it presented good water distribution of rainfall.

**Keywords:** *Glycine max.* Groove rod. Physical quality of the soil. Double disk.

# 1 INTRODUÇÃO

A expansão da agricultura no Cerrado brasileiro, aliada à adoção do sistema de plantio direto (SPD), tem conferido a essa região o título de principal polo produtor de grãos do país, com um crescimento sem precedentes. Representando mais de 60% da produção nacional de grãos, esse notável desempenho é fundamentalmente impulsionado pelo cultivo de soja e milho, sendo as duas principais commodities da economia do Brasil (ROSE, 2019).

Apesar dos grandes avanços no melhoramento genético, estudos apontam uma estagnação de produtividade da maioria das culturas nos últimos anos, sendo a compactação do solo nas áreas agrícolas considerada um dos fatores que mais contribuem para essa estagnação (KELLER et al., 2019). Isso acontece porque a primeira reação sentida na planta em um solo compactado ocorre na raiz que, por consequência, refletirá em modificações morfofisiológicas em toda a planta (FERREIRA et al., 2023a). O decréscimo no crescimento da raiz imposto pela maior densidade do solo e menor aeração diminuem a acessibilidade das plantas à água e nutrientes e desencadeiam restrições fisiológicas ao crescimento das plantas (YADAV et al., 2019), refletindo em diminuição da produtividade das culturas (FERREIRA et al., 2020). Tanto é que, atualmente, a compactação do solo é considerado o maior desafio do ponto de vista da fertilidade do solo e segurança alimentar (COLOMBI; KELLER, 2019).

As projeções climáticas futuras indicam um aumento sistemático da temperatura do mundo além do aumento da frequência e severidade dos eventos de déficit hídrico, principalmente na região em que localiza-se o Cerrado (IPCC, 2021). Com isso, o impacto da compactação do solo agrava-se visto que o aumento da resistência a penetração e a diminuição na taxa de crescimento das plantas é magnificada sob condições de seca (KELLER et al., 2019). Dado a tamanha importância sobre o estudo da compactação do solo é comum encontrar na literatura diversos trabalhos, que estudam esse fenômeno ao redor do mundo, contudo, menos de 10% desses trabalhos apontam soluções práticas para reverter ou minimizar os seus problemas (BLUETT et al., 2019).

Estudos demonstrado que, nos solos conduzidos sob SPD no Brasil, as camadas compactadas se concentram na profundidade entre 0,07 a 0,20 m, que apresenta efeito negativo no desenvolvimento de raízes e absorção de água e nutrientes pelas plantas (MOREIRA et al., 2020; NUNES et al., 2015).

A escarificação mecânica tem se tornado uma estratégia frequentemente usada para o alívio da compactação do solo. É uma prática efetiva para a quebra de camadas compactadas,

que causa: o aumento na infiltração de água, porosidade e redução na densidade do solo (DRESCHER et al., 2017). Apesar dessas vantagens, é uma prática de elevado custo operacional e com efeitos de curta duração (NUNES et al., 2019). Além disso, a partir do momento em que é realizada a escarificação o SPD deixa de existir e o solo fica suscetível a re-compactação (GUIMARÃES JÚNNYOR et al., 2019). Dessa forma são necessárias alternativas mais eficientes e de menor custo operacional para mitigar a compactação do solo, de modo a evitar perdas de rendimento das culturas e promover a sustentabilidade dos sistemas de produção sob SPD.

Em solos compactados, as semeadoras-adubadoras podem amenizar os efeitos das alterações estruturais do solo no desenvolvimento das plantas por meio de mecanismos de abertura de sulco para a deposição de fertilizantes e sementes. No Brasil, muitos produtores optam pela utilização de mecanismo sulcador do tipo disco devido ao maior rendimento operacional e menor consumo de combustível. No entanto, esse tipo de mecanismo atua mais superficialmente e resulta em reduzida mobilização do solo (AIKINS et al., 2020). A utilização de sulcadores do tipo haste pode ajudar a romper localmente camadas compactadas em superfície com consequente exploração de maior volume de solo pelas raízes das culturas (DRESCHER et al., 2017).

Com o progressivo aumento da fertilidade química do solo e desenvolvimento de cultivares cada vez mais produtivas, a compactação do solo em SPD tem sido frequentemente negligenciada e subestimada (KELLER et al., 2019). Além disso, ainda existem muitos questionamentos em relação ao uso de mecanismos de abertura de sulco de semeadura para as culturas, principalmente nos solos sob ambiente de Cerrado. A utilização de mecanismo de abertura de sulco do tipo haste sulcadora para atenuação da compactação superficial do solo pode ser uma alternativa interessante para a longevidade e manutenção do sistema plantio direto produtivo ao longo dos anos (FERREIRA et al., 2023b). Entretanto, trabalhos a campo que estudam a dinâmica das alterações físicas do solo que ocorrem ao longo de uma safra agrícola e seus impactos na cultura da soja são raros e necessitam de melhor compreensão (ANGHINONI et al., 2017).

Neste sentido, a hipótese central desta pesquisa sugere que a adoção do mecanismo de abertura do tipo haste sulcadora oferece condições de solo mais propícias ao longo do ciclo de desenvolvimento da cultura de soja, resultando em maior produtividade. Esse efeito é particularmente pronunciado em áreas de solo compactado, onde o sistema plantio direto é empregado no contexto do Cerrado brasileiro. O objetivo geral deste presente trabalho foi avaliar a dinâmica das propriedades físicas do solo e o desempenho da cultura da soja, ao

empregar os mecanismos de abertura de sulco haste sulcadora e discos duplos. Sendo os objetivos específicos: (1) quantificar as variações nos indicadores de qualidade física do solo e as respostas da cultura da soja resultantes da utilização de mecanismos de abertura de sulco, especificamente haste sulcadora e discos duplos; (2) investigar o potencial das hastes sulcadoras para romper a camadas superficial de solo compactada em SPD em área de solo do Cerrado; 3) avaliar a persistência dos efeitos da perturbação do solo na linha de semeadura causados pelos mecanismos de abertura de sulco, ao longo do ciclo da safra da soja.

## **2 REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1 Cultura da soja**

A soja é o grão mais importante da atualidade do agronegócio brasileiro. Tradicionalmente cultivada no verão devido as suas características fisiológicas e exigências climáticas, a soja vem ganhando território ano após ano como principal cultura do país (COSTA et al., 2020). Na década de 70, a soja evidenciava sua importância como principal grão oleaginoso no mundo e já era considerada a principal cultura do agronegócio nacional, apresentando crescimento exponencial de produção, inicialmente no sul do país e na década de 80 avançando para a região central, passando de 1,3 milhões de hectares cultivadas para 8,8 milhões (DALL'AGNOL, 2007). O destaque na produção de soja ocorre inicialmente pelo bom retorno econômico e pela utilização na indústria alimentícia como fonte de proteína animal e humana, além da indústria química na produção de biocombustíveis (DALPIZO et al., 2020).

Na safra 20/21 o Brasil se consagrou como o maior produtor mundial de soja, com 135,912 milhões de toneladas, um crescimento de 4,3% em relação ao ano safra anterior, e mantendo seu posto na safra 21/22 com mais de 140 milhões de toneladas produzidas. Conseqüentemente, o país é um forte exportador de soja, sendo a China um dos principais destinos do grão (CONAB, 2022).

A busca e manutenção por essas altas produtividades de soja exige grande esforço do produtor, quanto aos investimentos em tecnologia de manejo. No entanto, o cultivo, como um sistema de produção, faz-se necessário identificar suas limitações básicas e primárias, para que todo o processo seja eficiente.

## **2.2 O sistema plantio direto**

O Sistema de Plantio Direto (SPD), segundo Seixas (2001), é “um sistema de produção agrícola caracterizado por: a) manutenção da palhada deixada pela cultura anterior; b) aplicação de rotação de culturas; c) redução da taxa de mineralização da matéria orgânica; d) favorecimento da atividade biológica no controle de pragas e plantas daninhas; e) intensificação dos processos de agregação do solo.” Enquanto o Plantio Direto (PD) é o sistema de semeadura no qual a semente e o adubo são colocados diretamente no solo não revolvido, usando-se máquinas especiais. É aberto somente um sulco, de profundidade e largura suficientes para garantir uma boa cobertura e contato da semente com o solo (EMBRAPA, 2011). Como exige considerável menor revolvimento do solo, durante o manejo, o PD também contribui com maior manutenção do meio ambiente, minimizando os processos erosivos decorrentes da desestruturação física do solo (PEREIRA NETO; GUIMARÃES, 2005).

A cultura da soja é a que mais se adaptou ao longo dos anos no PD e prevê chegar a 2030 em 75% de todas as áreas cultiváveis no Brasil (MAPA, 2020). Porém, este sistema apresenta alguns inconvenientes, pois a mobilização reduzida do solo, aliada à sua maior umidade e tráfego de máquinas agrícolas, ainda que em baixa intensidade, ocasiona o surgimento de áreas de compactação em superfície (PEREIRA NETO; GUIMARÃES, 2005). No uso inadequado do Sistema de Plantio Direto (SPD) no formato Plantio Direto (PD), com sucessão de soja e milho, o solo acaba dividido em duas partes: a superficial com nutrientes e materiais orgânicos e, o subsuperficial compactado, que não retém e nem disponibiliza água para a planta, de forma que, sem a diversificação de culturas, a descompactação mecânica, a cada 5 anos, passa a ser uma prática agronomicamente vantajosa (DRESCHER et al., 2017).

## **2.3 Alterações físicas do solo**

A quantificação dos impactos da compactação do solo é de fundamental importância para o entendimento de como ela pode afetar a qualidade física do solo, o crescimento e produção das culturas. Reichert et al. (2009), explicam que os solos são constituídos por uma mistura de partículas sólidas de natureza mineral e orgânica, ar e água, formando um sistema trifásico, sólido, gasoso e líquido.

Diversas são as fontes de pressão sob o solo, que vão desde os discos de arados e grades até os sulcadores de semeadora, além dos próprios pneus dos tratores. As mudanças

ocasionadas nos atributos físicos do solo por conta dessa pressão excessiva levam à formação de uma faixa compactada, conhecida popularmente como “pé-de-grade” ou “pé-de-arado”.

Diferentes autores (ES et al., 1991; VIEIRA et al., 1992; NIELSEN et al., 1983; SOUSA et al., 1999; FIETZ et al., 1999; SOUZA et al., 2001; JOAQUIM JUNIOR et al., 2002), mencionam que as propriedades físicas do solo podem variar, sendo algumas mais susceptíveis a compactação que outras, dependendo do manejo adotado (plantio direto ou convencional) e das próprias características de origem dos solos. Segundo Beulter e Centurion (2004), solos compactados tendem a apresentar redução do volume de poros, especialmente macroporos, prejudicando a infiltração de água no solo e alterando sua estrutura. Além disso, os autores destacam que solos compactados têm a quantidade de oxigênio alterada, prejudicando o desenvolvimento na rizosfera. A compactação prejudica também, o crescimento e desenvolvimento de raízes das plantas, fazendo com que haja dificuldade em absorção de água e nutrientes do solo, podendo prejudicar o desenvolvimento vegetal.

Queiroz-Voltan et al. (2000), mencionam que em solos compactados, as raízes das plantas não utilizam adequadamente os nutrientes disponíveis, uma vez que o desenvolvimento de novas raízes, responsáveis pela absorção de água e nutrientes, fica prejudicado. E a quantidade de oxigênio na rizosfera pode ser limitante nos processos metabólicos. Segundo Hakansson et al. (1998), em solos compactados, o menor desenvolvimento do sistema radicular resulta em menor volume de solo explorado pelas raízes e, conseqüentemente, menor absorção de água e nutrientes. Tanto em casa de vegetação (ROSOLEM et al., 1994; QUEIROZ-VOLTAN et al., 2000), como no campo (MERTEN e MIELNICZUK, 1991), as raízes apresentam dificuldades em penetrar as camadas compactadas, promovendo maior desenvolvimento radicular na camada superior ou inferior.

A redução do volume de raízes da soja em função da compactação do solo foi observada por Cardoso et al. (2006), a medida em que a resistência a penetração aumenta, ocorre a redução do volume do sistema radicular da planta. A resistência do solo a penetração (RP) é uma das principais formas de mensurar a compactação do solo, sendo que em tese, quanto maior valor de RP, maior compactação há no solo.

Os problemas decorrentes da compactação do solo variam de acordo com a época do ano e as espécies cultivadas. Plantas de ciclo anual, como milho, tendem a sofrer mais com solos compactados do que plantas perenes. Na estação seca, a compactação do solo limita o crescimento do sistema radicular e interfere no acesso das plantas à água de camadas mais profundas. Já na estação chuvosa, a faixa de compactação limita a drenagem de água, podendo ocasionar encharcamentos nas lavouras (CARDOSO et al., 2006).

Quando não observada e manejada, a compactação do solo pode e irá afetar o desenvolvimento das plantas, desde o plantio até a colheita. A melhor forma de manejar solos é evitando que a compactação do solo ocorra. Quando isso se torna algo irreversível, faz-se necessário um plano de manejo de intervenção para redução da compactação, e quando se trata de áreas de PD, que seja realizado de forma a não comprometer a estruturação estabelecida ao longo de anos. Portanto, é de extrema importância buscar respeitar as premissas do PD e assim buscar diminuir os inevitáveis impactos negativos que podem surgir ao longo do tempo.

## **2.4 Mecanismos de abertura de sulco de semeadura**

Nos últimos anos, o uso de escarificadores e subsoladores tem sido a principal forma de remediação para áreas com compactação do solo. Esses equipamentos são utilizados para romper essas faixas de compactação formadas nos solos, buscando aumentar a porosidade, permitir a drenagem e evitar encharcamento (ANGHINONI et al., 2017).

Nicoloso et al. (2008), observa que o efeito da escarificação mecânica no Latossolo de textura muito argilosa, em época de elevada precipitação, foi temporário, não constando melhoria nas condições físicas nove meses após a operação. Camara e Klein (2005), destacam que a escarificação mecânica tem sim sido sugerida para aliviar a compactação do solo em áreas de PD consolidado, pois reduz a densidade do solo e melhora a condutividade hidráulica e taxa de infiltração de água. No entanto, o seu efeito é temporário e o solo escarificado tende a se reconsolidar, retornando em pouco tempo à sua condição original, como observados em trabalhos realizados por Busscher et al. (2002), exigindo a repetição da operação regularmente. Secco e Reinert (1997), também observaram que o efeito residual da escarificação em um Latossolo de textura muito argilosa na região sul do Brasil, não ultrapassou 10 meses.

Em contra partida, Klein e Klein (2015), atestaram que a escarificação mecânica do solo incrementa o rendimento de grãos para as culturas da soja, milho e trigo, mas que os efeitos residuais da escarificação apesar de percebidos pelas plantas com incremento em seu desenvolvimento e rendimento de grão, também não ultrapassam o período de um ano.

Landers (1995), mostra em seu trabalho que, como alternativa de minimização do impacto no solo, o uso da haste escarificadora propicia a colocação do adubo na linha do disco cortador e abaixo da semente, realizando pequeno preparo de solo na linha de semeadura, descompactando o solo na camada superficial. Arf et al. (2008), testou essa metodologia na produção de grãos em SPD e verificou que houve efeito dos mecanismos de

distribuição do fertilizante, em que o tratamento com uso de haste escarificadora possibilitou a obtenção de produtividade mais elevada em relação à utilização do disco duplo, com incremento de 12,5% no primeiro ano.

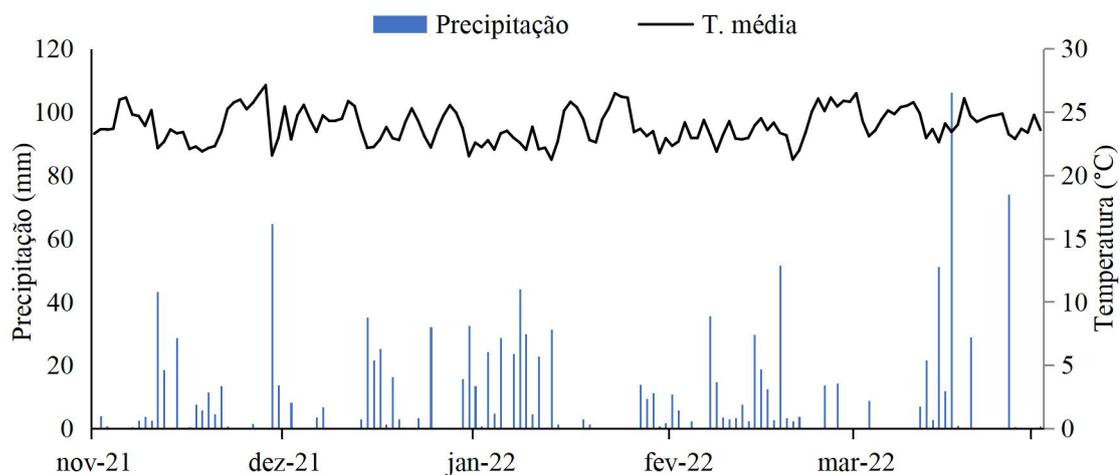
Devido aos vários fatores que influenciam no processo erosivo, a saúde do solo foi negligenciada ao longo dos anos. Embora tenha grande importância, tal assunto apresenta baixo número de pesquisas de cunho científico, que visam trazer solução para essa problemática, reforça-se a necessidade de avançar os estudos de campo sobre esse fenômeno, com vistas a validação de modelos de predição de perda de solos a serem aplicados (ARF et al., 2008).

### **3 MATERIAL E MÉTODOS**

#### **3.1 Área experimental**

O experimento foi conduzido no município de Rio Verde – Goiás, em área de campo experimental da Universidade de Rio Verde denominado Fazenda Fontes do Saber, localizado sob a latitude -17°46'58.5"S, longitude -50°57'49.3"W, altitude média de 768 m (GOOGLE EARTH, 2022), em solo classificado como Latossolo Vermelho Distroférrico (SANTOS et al., 2018), contendo 495, 50 e 455 g kg<sup>-1</sup> de areia, silte e argila, respectivamente, caracterizando a textura argilo-arenosa, sob relevo plano a suave ondulado (declividade média de 3%), com histórico de manejo em plantio direto desde 2018. A constituição mineralógica do solo é basicamente óxidos de ferro e alumínio (MARQUES et al., 2004).

O clima para a localidade em que o experimento foi conduzido é do tipo Aw, segundo a classificação de Köppen (KOPPEN, 1931), que recebe o nome de clima tropical, com estação seca, caracterizado por apresentar chuvas mais intensas no verão, em comparação com o inverno. Os dados de precipitação durante o ciclo da cultura da soja podem ser observados na Figura 1.



Fonte: INMET - Instituto Nacional de Meteorologia – Rio Verde – GO

Figura 1 - Temperatura média e precipitações observadas durante o período de condução a campo do experimento realizado com soja em solo semeado com haste e disco. Rio Verde (GO), 2021/2022. Total acumulado de chuva = 846 mm.

Realizou-se uma análise química do solo na camada de 0,00 m – 0,02 m apenas para recomendação da adubação, sendo utilizados 138 kg ha<sup>-1</sup> de Monoamônio fosfato (MAP) na ocasião da semeadura e 120 kg ha<sup>-1</sup> de Cloreto de potássio (KCl) quando a cultura se encontrava no estágio fenológico V3. Antes da semeadura da soja foi realizada avaliação de resistência a penetração para caracterização da área experimental, com o uso de penetrômetro de campo e constatado valor de 3,32±0,24 Mpa, na camada de 0-20 cm.

O experimento foi realizado no período correspondente à safra de verão de 2021/2022, período de um ano agrícola. O critério utilizado para a escolha da cultivar de soja levou em consideração a relevância que esta apresenta em termos de participação no mercado de sementes de soja da região Sudoeste de Goiás. A semeadura da soja foi realizada no dia 18 de novembro de 2021, com a cultivar DM 68i69 IPRO<sup>®</sup> pertencente a empresa Dom Mario, em espaçamento entrelinhas de 0,5 m, adotando-se densidade de sementes recomendada de 17 sementes m<sup>-1</sup>. A cultivar possui a característica de precocidade (grupo de maturação 6.8), de crescimento indeterminado e de alto potencial produtivo. O tratamento de sementes utilizado foi o fornecido pela própria sementeira.

### 3.2 Caracterização dos tratamentos

O delineamento utilizado foi em blocos casualizados com três repetições e três amostras por repetições para composição do experimento. Os tratamentos foram constituídos

da comparação de dois mecanismos de abertura de sulco de semeadura acoplados a uma semeadora/adubadora equipada com discos de corte frontal para o corte da palhada e os seguintes tratamentos: disco duplo para deposição de sementes e fertilizantes com profundidade de operação de aproximadamente 0,05 m e no tratamento de haste sulcadora os discos duplos foram substituídos por hastes com formato parabólico, ângulo de ataque de 20°, espessura da ponteira de 30 mm e profundidade de penetração entre 0,10 e 0,12 m para a deposição do fertilizante. A ilustração dos mecanismos de abertura de sulco está apresentada na Figura 2. As unidades experimentais foram compostas, por 10 linhas de semeadura de soja, com 7,5 m de comprimento, totalizando área bruta de 37,5 m<sup>2</sup>. Para composição da área útil, foi eliminado 1,0 m de cada bordadura da unidade experimental. Segue o croqui esquemático da área experimental na Figura 3.



Figura 2 - Imagens dos mecanismos de abertura do tipo discos duplos (a) e hastes sulcadoras (b).

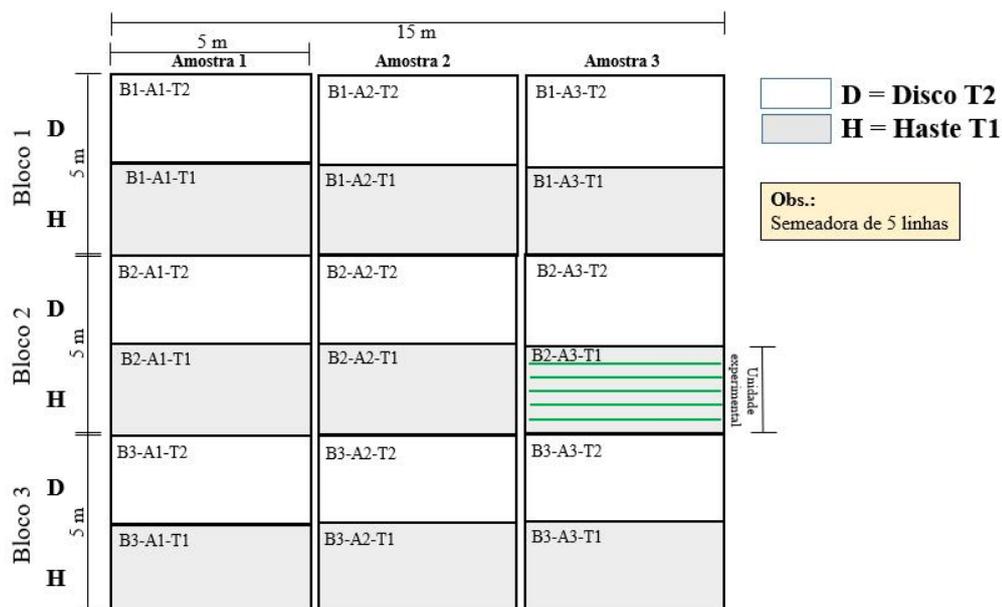


Figura 3 - Croqui da área experimental na Universidade de Rio Verde. Rio Verde, Goiás.

Durante o desenvolvimento da cultura da soja, todos os tratos culturais foram , de acordo com as recomendações, como: procedendo ao controle de pragas, doenças e plantas daninhas sem deixar que estes influenciassem no desenvolvimento da cultura, de acordo com as recomendações técnicas, para a cultura da soja descrita pela Embrapa (2017).

### 3.3 Avaliações físicas do solo

Dez dias após a semeadura da soja e após a colheita foram realizadas medidas de condutividade hidráulica saturada (CHS) propriedade ligada a processos dinâmicos no solo, para os pontos amostrais, foi utilizada a metodologia de campo proposta por Bagarello et al. (2004), denominada de *Simplified Falling-Head Technique*. As avaliações foram realizadas na linha (L) e na entrelinha (E) da cultura da soja para observar o efeito dos mecanismos de abertura de sulco de semeadura.

Para avaliação foram utilizados cilindros de PVC (0,10 m de diâmetro e 0,25 m de altura), os quais foram inseridos no solo a uma profundidade de 5 cm. A técnica consiste em aplicar um pequeno volume de água,  $V$ , na superfície de um solo confinado por um cilindro (com área de seção transversal  $A$ ) inserido no solo e medir o tempo a partir da aplicação da água até o instante em que a superfície não esteja mais coberta por água. A condutividade hidráulica saturada foi calculada por meio da equação:

$$K_{sat} = \frac{\Delta\theta}{(1 - \Delta\theta)t_a} \left[ \frac{D}{\Delta\theta} - \frac{D + (\frac{1}{\alpha^*})}{\partial\theta} \ln \left( 1 + \frac{(1 - \Delta\theta)D}{\Delta\theta(D + \frac{1}{\alpha^*})} \right) \right]$$

Em que  $\Delta\theta$  é a diferença entre o teor de água do solo saturado (ou porosidade total) e o teor inicial de água,  $D = V/A$  é a altura da lâmina de água (m) no início da medição e  $\alpha^*$  é a relação entre  $K_{sat}$  e fluxo matricial potencial, sugerido por Reynolds e Elrick (2002), o qual é definido por um valor constante baseado na textura e na estrutura do solo. Todas as medições foram realizadas utilizando o volume constante de  $0,00033 \text{ m}^3$ , conforme proposto por Keller et al. (2012).

A diferença entre a umidade do solo saturado e a umidade inicial do solo foi determinada a partir da umidade volumétrica. Com base na textura e na estrutura do solo observada para as condições em que o experimento foi conduzido, utilizou-se um valor de  $\alpha^* = 12 \text{ m}^{-1}$ , conforme indicações de Bagarello et al. (2004). Simultaneamente ocorreram medições da umidade do solo volumétrica utilizando medidor de umidade digital HidroFarm da marca Falcker®.

As amostras indeformadas de solo foram coletadas após a colheita da soja, para se observar o efeito dos mecanismos de abertura de sulco de semeadura ao longo da safra de soja. Foram coletadas duas amostras indeformadas de solos na linha (L) e na entrelinha (E) da camada de 0,0-0,10 m de cada unidade experimental para determinação: da densidade do solo, porosidade total, capacidade de campo, capacidade de aeração do solo e resistência à penetração. A avaliação nesses dois pontos de amostragem é para verificar o real efeito dos mecanismos de abertura de sulco de semeadura na linha, semelhante a proposta utilizada por Anghinoni et al. (2017).

A porosidade total (PT) foi obtida pela diferença entre a massa do solo saturado e a massa de solo seco (EMBRAPA, 2017) dividido pelo volume total da amostra, conforme a equação 1.

$$PT = (msu - mss) / Vt \quad (1)$$

sendo PT = porosidade total ( $\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$ ); msu = massa de solo saturado (kg); mss = massa de solo seco (kg); Vt = volume total da amostra ou equivalente ao volume do cilindro ( $\text{m}^3$ ).

A capacidade de campo (CC) ou teor de água após equilíbrio do solo na tensão de 6 kPa (SEVERIANO et al., 2011) foi determinada como o teor volumétrico de água do solo após equilíbrio com a tensão de 6 kPa (Equação 2).

$$CC = (msu(-6\text{kPa}) - mss) / Vt \quad (2)$$

em que, CC = Capacidade de campo ( $\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$ ); msu (-6 kPa) = massa de solo úmido equilibrado à tensão de 6 kPa (kg); mss = massa de solo seco (kg) e Vt = volume total do cilindro ( $\text{m}^3$ ).

A capacidade de aeração do solo (CASOLO) foi obtida pelo teor de água na saturação (PT) subtraído do teor de água na tensão de 6 kPa. Ao final, a densidade do solo foi calculada pela razão entre a massa seca do solo e o volume total da amostra conforme Grossman e Reinsch (2002).

A resistência à penetração foi determinada em cada amostra após equilíbrio na tensão 6 kPa utilizando um dinamômetro (Model FGV-200XY-SHIMPO) conectado com uma haste em formato de cone ( $30^\circ$  de ângulo) e diâmetro basal de 4 mm de acordo com Guedes Filho et al. (2014).

### **3.4 Avaliações agronômicas na cultura da soja**

Ao longo do desenvolvimento da cultura da soja foram avaliados também, as variáveis-respostas da soja, seguindo os padrões usualmente utilizados em campo, adotando-se procedimentos iguais para cada unidade experimental, sendo elas: altura de plantas inicial e final, população de plantas inicial e final, número total de vagens, massa de mil grãos e produtividade de grãos. Para avaliação de altura de plantas (aos 10 dias após a emergência (DAE) e final), para isso foram selecionadas cinco plantas por parcela e utilizando régua graduada medindo do colo da planta até o último trifólio completamente expandido. Para população de plantas (inicial aos 10 DAE e final), foi realizada a contagem do número de plantas por parcela e extrapolado para plantas por hectare. O número total de vagens foi avaliado, na colheita, em cinco plantas por parcela, procedendo-se a contagem do número de vagens nas hastes principal e secundárias.

No dia 08 de março de 2022, quando as plantas atingiram a maturidade fisiológica, a colheita da soja foi realizada, e logo após foi executada a pesagem para avaliações de massa de cem grãos (MCG) e também da produtividade de grãos (PG) que foi determinada por meio de pesagem dos grãos das plantas colhidas na área útil da parcela com posterior correção de umidade para 13%.

### **3.5 Análises estatísticas**

A análise estatística foi realizada no programa computacional Sisvar (FERREIRA, 2011). Inicialmente realizou-se a análise de variância de cada variável e quando constatada significância verificou-se pelo teste LSD de Fisher a 5% de probabilidade a comparação das médias. Adicionalmente, foi realizada análise de correlação linear de *Pearson* entre as variáveis utilizando o comando PROC CORR (SAS, 2002).

## **4 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **4.1 Propriedades físicas do solo**

A Figura 4 exibe os resultados relativos à condutividade hidráulica saturada inicial e final, considerando a utilização dos mecanismos de abertura de sulco de semeadura: haste sulcadora e discos duplos. Os dados evidenciam que, para a condutividade hidráulica saturada inicial, não se identificou variação significativa na taxa de infiltração na área na posição entrelinha. Entretanto, na linha de semeadura, verificou-se uma maior condutividade quando se recorreu ao mecanismo de haste sulcadora. Provavelmente essa maior infiltração na haste é por ela possuir maior capacidade de rompimento do solo na abertura de sulco de semeadura (DRESCHER et al. 2017), fato que desempenhou papel importante na melhoria da infiltração de água no solo utilizando nesse mecanismo.

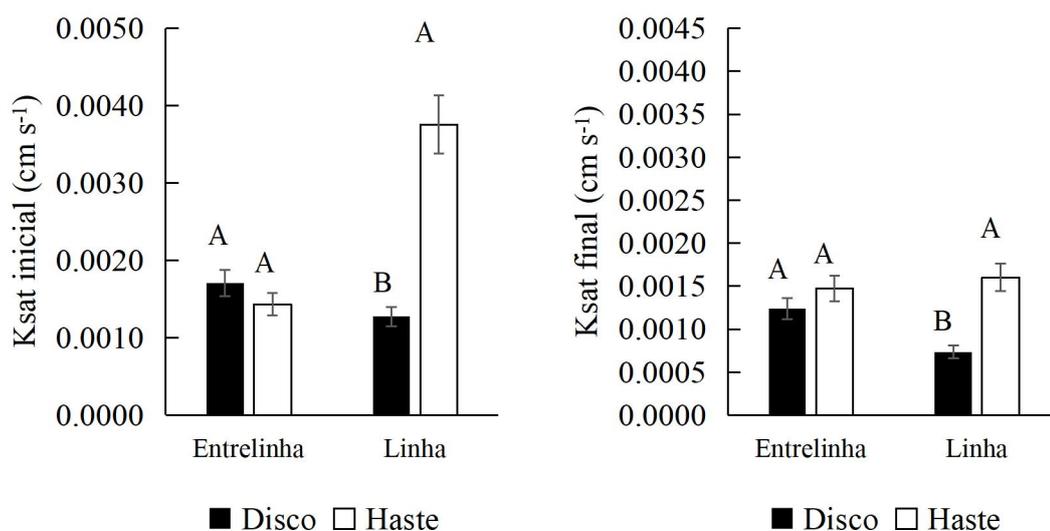


Figura 4 - Condutividade hidráulica saturada (Ksat) na camada de 0-0,1 m em solo utilizando os mecanismos de abertura de sulco de semeadura haste e disco nas posições de amostragens linha e entrelinha. Rio Verde (GO), 2021/2022. Médias seguidas de mesma letra maiúscula não diferem, significativamente, entre si a 5 % de probabilidade pelo teste LSD-Fisher. As barras referem-se ao intervalo de confiança da média.

Ao avaliar a condutividade hidráulica saturada final, mais uma vez, verificou-se uma diferença na posição da linha, contudo de menor magnitude. Essa atenuação possivelmente decorre da resiliência do solo que ao longo do ciclo da cultura foi capaz de se recuperar das alterações causadas pela abertura de sulco de semeadura (ANGHINONI et al., 2017).

As propriedades do solo: capacidade de campo, capacidade de aeração e porosidade do solo demonstraram uniformidade em relação as posições de amostragem linha e entrelinha (Figura 5), e independentemente dos mecanismos de abertura de sulco de semeadura haste e disco. A ausência de diferença para essas variáveis pode estar vinculada ao fato que a coleta de amostras ocorreu ao término do ciclo da cultura, o que refletiu em ausência de diferenças presentes no solo. Esse fenômeno está alinhado a observação feita por Moreira et al. (2016), que notaram as modificações nas propriedades físicas do solo, na linha de semeadura, sendo estas moldadas pelos ciclos de umedecimento e secagem do solo oriundos da variabilidade intrínseca da precipitação.

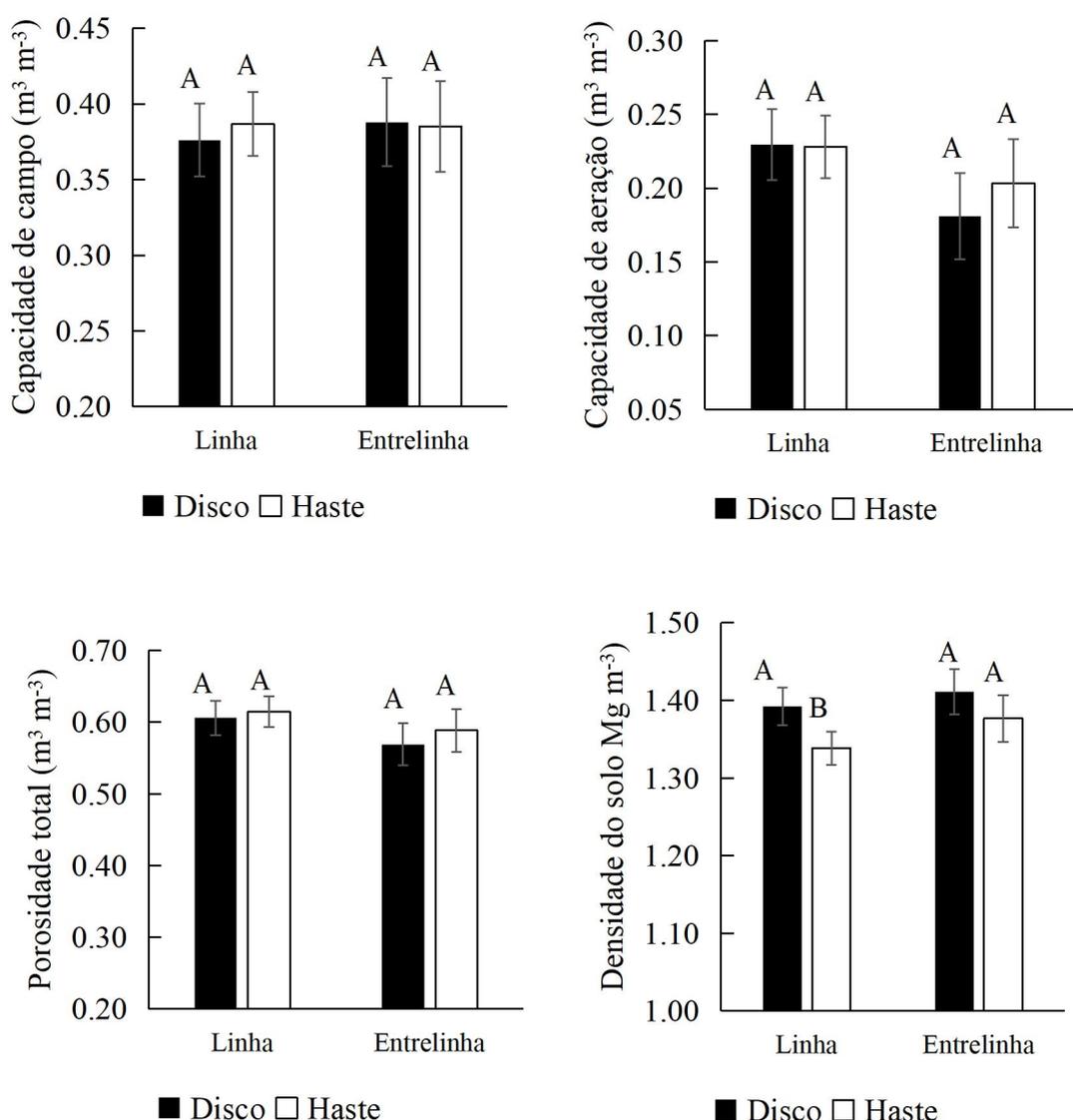


Figura 5 - Capacidade de campo, capacidade de aeração, porosidade total e densidade do solo na camada de 0-0,1 m utilizando os mecanismos de abertura de sulco de semeadura haste e disco. Rio Verde (GO), 2021/2022. Médias seguidas de mesma letra maiúscula na posição de amostragem não diferem, significativamente, entre si a 5 % de probabilidade pelo teste LSD-Fisher. As barras referem-se ao intervalo de confiança da média.

A adoção de hastes sulcadoras promoveu redução de 25% na resistência à penetração (Figura 6) e resultou em menor densidade do solo na linha de semeadura (Figura 5) quando comparada ao uso dos discos duplos permitindo a raiz explorar maiores profundidades dentro do perfil de solo. Diferentes pesquisadores relataram que, as ações localizadas das hastes sulcadoras no contexto do sistema plantio direto contribuem para aprimorar a camada superficial do solo da região Sul do Brasil, estabelecendo um ambiente mais propício para o crescimento das culturas (FERREIRA et al. 2023b; NUNES et al. 2015; DRESCHER et al., 2017). Entretanto, até o momento, trabalhos sobre esse comportamento nos solos do Cerrado

ainda não haviam sido realizados para comprovar a ocorrência do mesmo fenômeno nesses solos. Portanto, a introdução de uma semeadora equipada com hastes sulcadoras apresenta um potencial significativo para atenuar a compactação na camada superficial do solo dentro do contexto do sistema de plantio direto em áreas de solo do Cerrado.

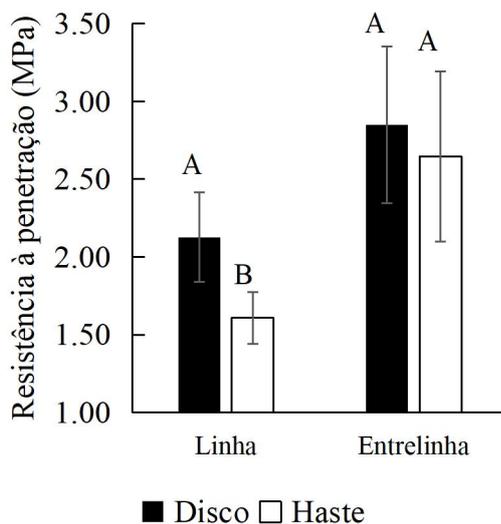


Figura 6 - Resistência do solo a penetração na camada de 0-0,1 m utilizando os mecanismos de abertura de sulco de semente haste e disco. Rio Verde (GO), 2021/2022. Médias seguidas de mesma letra maiúscula na posição de amostragem não diferem, significativamente, entre si a 5 % de probabilidade pelo teste LSD-Fisher. As barras referem-se ao intervalo de confiança da média.

Apesar das diferenças de resistência a penetração na posição linha entre haste sulcadora e disco, para ambos os mecanismos não foram observados valores de resistência a penetração acima do limite crítico de 2,5 MPa (GIRARDELLO et al., 2014).

#### 4.2 Respostas agronômicas da soja

A Figura 7 apresenta dados de estande inicial e final de plantas de soja com base na utilização dos mecanismos de abertura de sulco de semente haste e disco. Ficou evidenciado que, o tratamento com discos resultou em menor número de plantas até o final do ciclo de desenvolvimento da cultura, relacionado a capacidade reduzida que esse mecanismo apresenta em romper a camada compactada de solo, o que por consequência pode confinar as plantas nos primeiros centímetros do solo, sugerindo pior alocação da semente de soja no solo proporcionando menor emergência e estabelecimento da cultura, visto que o mecanismo do tipo disco atua mais superficialmente e resulta em reduzida mobilização do solo

(CHAUDHURI, 2001). Tal confinamento pode gerar estresse na cultura contribuindo para observar menor número de plantas conforme atestado por alguns trabalhos (CONTE et al., 2009; DRESCHER et al., 2017; TRENTIN et al., 2018).

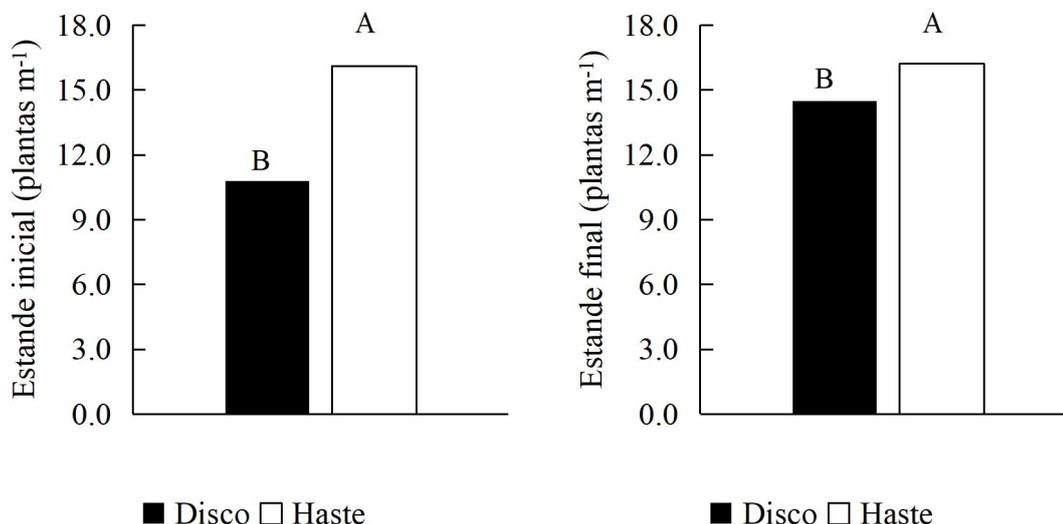


Figura 7 - Estande inicial e final de plantas de soja utilizando os mecanismos de abertura de sulco de semeadura haste e disco. Rio Verde (GO), 2021/2022. Médias seguidas de mesma letra maiúscula não diferem, significativamente, entre si a 5 % de probabilidade pelo teste LSD-Fisher.

Para a variável altura inicial, observou-se que as plantas de soja com o uso de disco apresentaram um porte mais reduzido (Figura 8). Isso pode estar diretamente vinculado ao fato de que os discos tendem a romper menos a camada compactada do solo (CONTE et al., 2009), o que repercute em um desempenho inicial inferior para a cultura da soja. Contrariamente, no que se refere à altura final, não se constatou discrepância significativa entre o uso do disco e da haste. Esse fenômeno pode ser atribuído à capacidade da cultura da soja de manifestar plasticidade fenotípica, ou seja, ela é capaz de se recuperar de estresses durante o desenvolvimento do resultado da habilidade intrínseca da soja, em se adaptar e se reequilibrar ao longo do ciclo de cultivo (RAMBO et al., 2003).

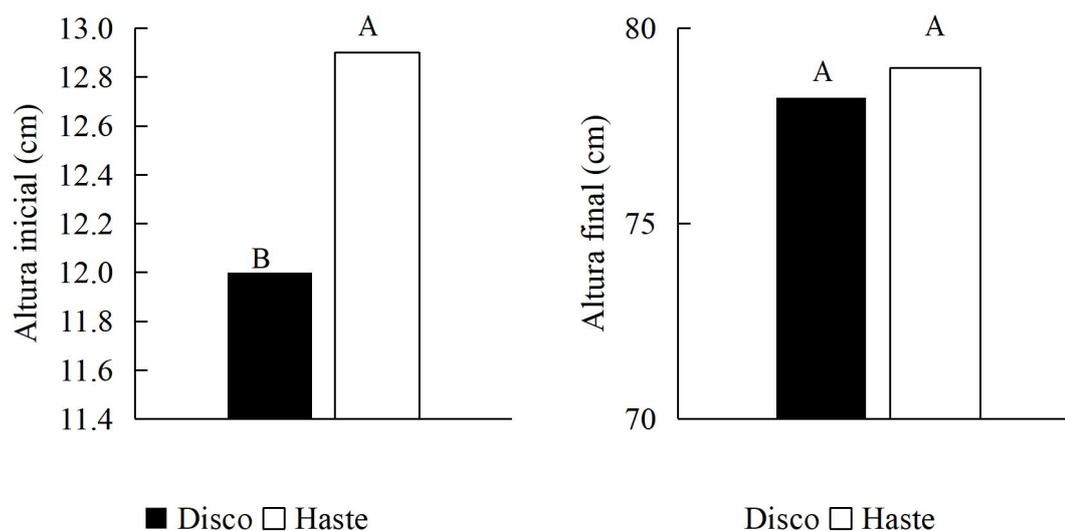


Figura 8 - Altura inicial e final de plantas de soja utilizando os mecanismos de abertura de sulco de semeadura haste e disco. Rio Verde (GO), 2021/2022. Médias seguidas de mesma letra maiúscula não diferem, significativamente, entre si a 5 % de probabilidade pelo teste LSD-Fisher.

A massa de cem grãos e o número de vagens por plantas são componentes do rendimento responsáveis pela produtividade da cultura da soja. É possível observar na Figura 9, que houve diferença significativa para a massa de cem grãos e não houve para o quesito número de vagens. Esse resultado pode também estar associado à plasticidade fenotípica da soja, que é a capacidade de adaptação da planta às condições ambientais e de manejo, promovendo mudanças na sua morfologia e arquitetura e nos componentes do rendimento (RAMBO et al., 2003). Haja vista que, ainda com uma quantidade menor de vagens (mesmo que não diferindo estatisticamente), a planta do tratamento do tipo haste compensou com o peso maior de grãos em relação ao tratamento do tipo disco. Arf et al. (2008) e Kaneko et al. (2010), em estudos com feijoeiro, não observaram influência dos mecanismos sulcadores sobre a massa de cem grãos em dois anos de experimento. Contudo, para Centurion et al. (2006), o número de grãos por vagem é uma característica tipicamente genética, não sendo, portanto, influenciada pelos tratamentos.

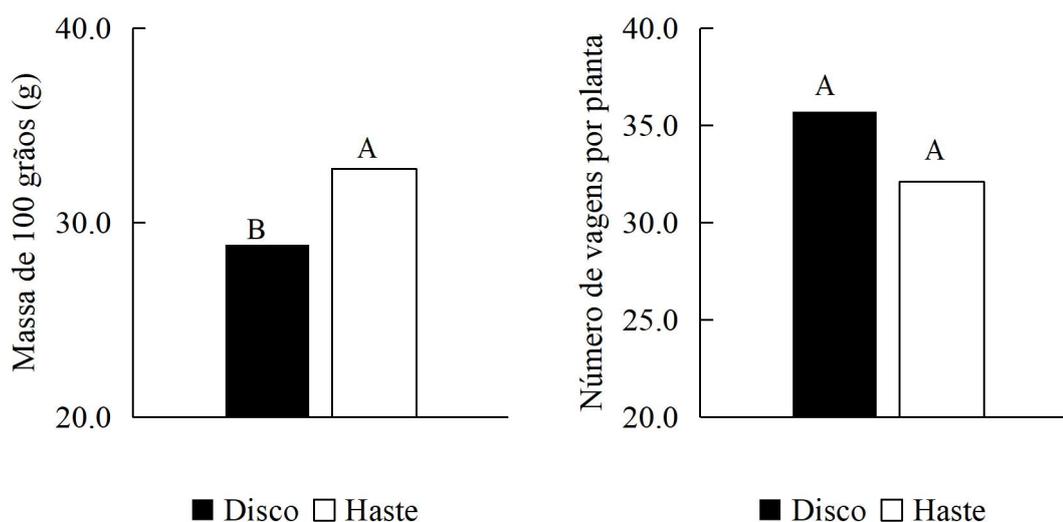


Figura 9 - Massa de 100 grãos e número de vagens de plantas de soja semeadas utilizando os mecanismos de abertura de sulco de semeadura haste e disco. Rio Verde (GO), 2021/2022. Médias seguidas de mesma letra maiúscula não diferem, significativamente, entre si a 5 % de probabilidade pelo teste LSD-Fisher.

Não se constatarem diferenças significativas em relação à produtividade utilizando os diferentes mecanismos de abertura de sulco de semeadura (Figura 10). Isso está em consonância com Gurgacz (2007), que obteve rendimentos semelhantes utilizando tanto a haste sulcadora quanto o disco duplo. No entanto, contradiz os resultados obtidos por Silva et al. (2018) e Ferreira et al. (2023b), que indicaram maiores rendimentos associados a hastes sulcadoras quando comparada a semeadura utilizando disco duplo, principalmente em condição de solo compactado. Cabe ressaltar que a ocorrência de uma distribuição de chuvas adequada (Figura 1) desempenhou um papel fundamental na ausência de divergências significativas na produtividade da cultura da soja entre os distintos métodos de abertura de sulcos, apesar de se identificar algumas interferências nos componentes de produção.

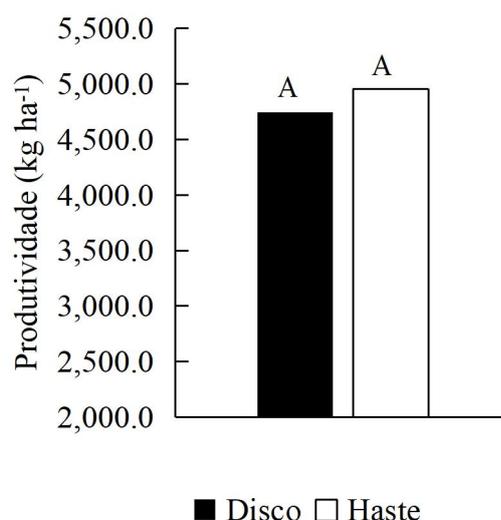


Figura 10 - Produtividade de soja utilizando os mecanismos de abertura de sulco de semeadura haste e disco. Rio Verde (GO), 2021/2022. Médias seguidas de mesma letra maiúscula não diferem, significativamente, entre si a 5 % de probabilidade pelo teste LSD-Fisher.

#### 4.3 Relação das características do solo com a cultura da soja

A variável condutividade hidráulica saturada inicial e final tiveram correlação com as características agrônômicas da soja que apresentaram as maiores variações entre os mecanismos de abertura de sulco haste e disco, sendo elas estande inicial, altura inicial e massa de cem grãos. Tal variável reflete a habilidade do sistema poroso do solo em transferir água para o sistema solo planta, sendo considerado um indicador de intensidade e mais sensível para refletir as respostas das plantas (FAVILLA et al., 2020).

A produtividade da soja apresentou relação negativa com capacidade de campo e resistência do solo a penetração. Vale ressaltar que as respostas de produtividade da cultura da soja são consequências de diversos fatores, que apresentou correlação significativa com as propriedades físicas do solo, como: capacidade de campo, aeração do solo e resistência a penetração (Tabela 1). O decréscimo no crescimento de raiz, imposto pela maior resistência a penetração e menor aeração do solo, reduzem a acessibilidade das plantas à água e nutrientes, ocasionando limitações no metabolismo e no crescimento das plantas (YADAV et al., 2019).

A correlação entre as propriedades físicas do solo e a resposta da planta é altamente influenciada pela condição climática, sendo que quando os recursos ambientais são escassos, as respostas das culturas à compactação do solo são mais pronunciadas (LIU et al., 2022). Isso, explica os menores valores de correlação, visto que a safra de condução do experimento não

apresentou limitação hídrica. Contudo, as projeções climáticas indicam um aumento progressivo das temperaturas, que combinadas com chuvas menos confiáveis, provavelmente aumentar a frequência e a gravidade dos déficits hídricos (IPCC, 2021). Tais cenários exigirão um solo com melhores condições de mecanização e práticas de manejo para colheitas bem-sucedidas, e esta pesquisa confirmou que a seleção e configurações corretas do mecanismo de semeadura pode ir de alguma forma para superar os efeitos adversos da compactação na colheita estabelecimento e rendimento em solo sob sistema plantio direto de longo prazo. Isso, por sua vez, pode melhorar a confiabilidade da colheita e a sustentabilidade da agricultura.

Tabela 1 - Correlação linear de Pearson das propriedades físicas do solo na linha na camada de 0,0 a 0,1 m *versus* características agrônômicas da soja. Rio Verde, Goiás, safra 2021/22

	ESTi	ALTi	ESTf	ALFf	NVP	MCG	PROD
Capacidade de campo	0,23	0,34	-0,24	0,17	0,27	0,01	<b>-0,44</b>
Capacidade de aeração	-0,13	0,12	0,03	<b>-0,46</b>	<b>-0,56</b>	0,31	<b>0,42</b>
Porosidade total	0,06	<b>0,42</b>	-0,17	-0,30	-0,32	0,32	0,03
Densidade do solo	-0,31	<b>-0,39</b>	0,01	<b>0,38</b>	0,30	-0,35	-0,16
Resistência à penetração	-0,19	-0,08	-0,35	0,03	0,14	<b>-0,53</b>	<b>-0,52</b>
Condutividade hidráulica saturada inicial	<b>0,49</b>	<b>0,48</b>	0,26	0,20	-0,15	<b>0,65</b>	-0,05
Condutividade hidráulica saturada final	<b>0,58</b>	<b>0,44</b>	0,18	-0,14	-0,32	<b>0,43</b>	0,08

ESTi = estande inicial de plantas; ESTf = estande final de plantas; ALTi = altura inicial de plantas; ALFf = altura final de plantas; NVP = número de vagens por planta; MCG = massa de cem grãos; PROD= produtividade de grãos. \*Coeficientes de correlação de Pearson significativo ( $p < 0,05$ ) estão em negrito.

## 5 CONCLUSÃO

A utilização de haste sulcadora apresentou melhor condutividade hidráulica saturada no solo, além de menor densidade do solo e resistência a penetração.

O mecanismo do tipo haste influenciou positivamente: população de plantas, altura inicial e na massa de cem grãos.

O mecanismo de abertura do tipo haste sulcadora oferece condições de solo mais propícias ao longo do ciclo de desenvolvimento da cultura de soja, no entanto, não foi suficiente para resultar em acréscimo de produtividade devido a condição hídrica favorável da safra.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AIKINS, K. A.; BARR, JAMES B.; UCGUL, MUSTAFA; JENSEN, TROY A.; ANTILLE, DIOGENES L. AND DESBIOLLES, JACK M. A. No-tillage furrow opener performance: A review of tool geometry, settings and interactions with soil and crop residue. **Soil Research**, v. 58, n. 7, p. 603–621, 2020.

ANGHINONI, G.; TORMENA, C. A.; LAL, R.; MOREIRA, W. H.; BETIOLI JÚNIOR, E.; FERREIRA, C. J. B. Within cropping season changes in soil physical properties under no-till in Southern Brazil. **Soil and Tillage Research**, v. 166, p. 108–112, 2017.

ARF, O. KANEKOL, F. H.; GITTI, D. C.; ARF, M. V.; FERREIRA, J. P.; BUZETTI, S. **Mecanismos de abertura do sulco e adubação nitrogenada no cultivo do feijoeiro em sistema plantio direto**. Bragantia: boletim tecnico do Instituto Agronomico do Estado de Sao Paulo, v. 67, n. 2, p. 499–506, 2008.

BAGARELLO, V; IOVINO, M.; ELRICK, D.E.. Simplified falling-head technique for rapid determination of field-saturated hydraulic conductivity. **Soil Science Society of America Journal**, v.68, n.1, p.66-73, 2004.

BEULTER, A. N.; CENTURION, J. F. Compactação do Solo no Desenvolvimento Radicular e na Produtividade da Soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.39, n.6, p.581-588, 2004.

BLUETT, C.; TULLBERG, J. N.; MCPHEE, J. E.; ANTILLE, D. L. Why still focus on soil compaction? **Soil and Tillage Research**, v. 194, n. 104282, p. 1–2, 2019.

BUSSCHER, W.J.; BAUER, P.J.; FREDERICK, J.R. Recomposition of a coastal loamy sand after deep tillage as a function of subsequent cumulative rainfall. **Soil and Tillage Research**, v. 68, n. 1, p. 49-57, 2002.

CAMARA, R.K.; KLEIN, V.A. Propriedades físico-hídricas do solo sob plantio direto escarificado e rendimento da soja. **Ciência Rural**, v. 35, n. 4, p. 813-819, 2005.

CARDOSO, E. G.; ZOTARELLI, L.; PICCININ, J. L.; TORRES, E.; SARAIVA, O. F.; GUIMARÃES, M. DE F. Sistema Radicular da Soja em Função da Compactação do Solo no Sistema de Plantio Direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, n.3, p.493-501, 2006.

CENTURION, J. F.; CENTURION, M. A. P. da C.; BEUTLER, A. N.; ROSSINI, L. A.; FREDDI, O. da S.; SOUZA NETO, E. L. de. Compactação do solo no desenvolvimento e na produção de cultivares de soja. **Científica**, v. 34, n. 2, p. 203-209, 2006.

CHAUDHURI, D. Performance evaluation of various types of furrow openers on seed drills - a Review. **Journal of Agricultural Engineering Research**, v. 79, n. 1, p. 125–137, 2001.

COLOMBI, T.; KELLER, T. Developing strategies to recover crop productivity after soil compaction - A plant eco-physiological perspective. **Soil and Tillage Research**, v. 191, n. 2, p. 156–161, 2019.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos. Brasília, DF, v. 12, safra 2021/22, n. 12 décimo segundo levantamento, setembro. 2022.

CONTE, O.; LEVIEN, R.; TREIN, C. R.; ALEXANDRE, A.; XAVIER, P. Demanda de tração, mobilização de solo na linha de semeadura e rendimento da soja, em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, n. 10, p. 1254–1261, 2009.

COSTA, N. L.; DE SANTANA, A. C.; CORONEL, D. A.; BRUM, A. L.; CORRÊA DE MATTOS, C. A. Aspectos da importância do complexo soja no Brasil e no Rio Grande do Sul: 1997 – 2017. **Redes**, v. 25, n. 4, p. 1840-1863, 2020.

DALL AGNOL, A. (Paraná). Embrapa. O complexo agroindustrial da soja brasileira. Circular Técnica, Londrina, v. 1, n. 43, p. 1-11, 2007. Disponível em: <file:///C:/Users/SoluBio/Downloads/43.pdf>. Acesso em: 01 mar. 2022.

DALPIZOL, B.; LEHR, E.; ALVES, G.; RODRIGUES, F.; BERNARDI, D. Propriedades Funcionais da Soja. **Fag Journal Of Health**, v. 2, n. 3, p. 394-401, 2020.

DRESCHER, M. S.; REINERT, D. J.; DENARDIN, J. E.; GUBIANI, P. I.; FAGANELLO, A.; DA SILVA, B. R.; ZARDIN, M. C. Fertilizer shanks to promote soil decompaction in the seeding operation. **Ciência Rural**, v. 47, n. 3, p. 1–8, 2017.

EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária). **Manual de métodos de análise de solos**. 3nd. ed. Rio de Janeiro-RJ: Embrapa Solos, 2017.

EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária). 2011. Tecnologias de produção de soja - região central do Brasil 2012 e 2013. Embrapa Soja. Londrina, BR.

ES, H.M.V.; CASSEL, D.K.; DANIELS, R.B. Infiltration variability and correlations with surface soil properties for eroded Hapludult. **Soil Science Society of American Journal**, v. 55, n. 3, p.486-492, 1991.

FAVILLA, H. S.; TORMENA, C. A.; CHERUBIN, M. R. Detecting near-surface *Urochloa ruziziensis* (Braquiaria grass) effects on soil physical quality through capacity and intensity indicators. **Soil Research**, v. 59, n. 1, p. 214-224, 2020.

FERREIRA, C.J.B.; TORMENA, C.A.; SEVERIANO, E.C.; ZOTARELLI, L.; BETIOLI JUNIOR, E. Soil compaction influences soil physical quality and soybean yield under long-term no-tillage. **Archives of Agronomy and Soil Science**, v.66, n.2, p.1-14, 2020.

FERREIRA, C. J. B.; SILVA, A. G.; TORMENA, C. A.; SEVERIANO, E. C.; TAVARES, R. L. M.; BRAZ, G. B. P.; PAIVA FILHO, S. V. Physiological and agronomic response of soybean cultivars to soil compaction in the Brazilian Cerrado. **Bragantia**, v. 82, n. e20220160, p. 1-10, 2023a.

FERREIRA, C. J. B.; TORMENA, C. A.; SEVERIANO, E. C., NUNES, M.R.; MENEZES, C.C.E.; ANTILLE, D.L.; PRETO, V.R.O. Effectiveness of narrow tyne and double-disc openers to overcome shallow compaction and improve soybean yield in long-term no-tillage soil. **Soil and Tillage Research**, v.227, n.105622, p.1-10, 2023b.

FERREIRA D.F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 35, n. 4, p. 1039-1042, 2011.

FIETZ, C.R.; FOLEGATTI, M. V.; VIEIRA, S. R.; FRIZZONE, J. A. Efeito da variabilidade do armazenamento de água no solo na qualidade da irrigação por aspersão. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 3, n. 2, p. :150-153, 1999.

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. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, n. 5, p. 1234-1244, 2014.

GROSSMAN, R. B.; REINSCH, T. G. **Bulk Density and Linear Extensibility**. In: OF, A. S.; Agronomy, S. S. S. Of A. (Org.). *Methods of Soil Analysis. Part. 4.* 3rd. ed. Lincoln, Nebraska: Madison, 2002. v. i. p. 201–228.

GOOGLE EARTH website. <http://earth.google.com/>, 2022.

GUEDES FILHO, O., SILVA, A. P., GIAROLA, N. F. B., TORMENA, C. A. Least-limiting water range of the soil seedbed submitted to mechanical and biological chiselling under no-till. **Soil and Tillage Research**, v. 52, n. 1, p. 521–532, 2014.

GUIMARÃES JÚNNYOR, W. DA S., DE MARIA, I. C., ARAUJO-JUNIOR, C. F., LIMA, C. C. DE, VITTI, A. C., FIGUEIREDO, G. C., & DECHEN, S. C. F. Soil compaction on traffic lane due to soil tillage and sugarcane mechanical harvesting operations. **Scientia Agricola**, v. 76, n. 6, p. 509–517, 2019.

GURGACZ, F. Semeadura da soja em sistemas de rotação de culturas e integração agricultura-pecuária em um Latossolo sob sistema de plantio direto. 69 f. **Dissertação (Mestre em Engenharia Agrícola) Universidade Estadual do Oeste do Paraná**, Cascavel, 2007.

HAKANSON, I.; VOORHEES, W.B.; RILEY, H. Vehicle and wheel factors influencing soil compaction and crop responses in different traffic regimes. **Soil and Tillage Research**, v.11, n. 4, p.239-282, 1988.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE – IPCC. Near-term Climate Change: Projections and Predictability. In: Press, C.U., editor, *Climate Change 2021: The Physical Science Basis*. Cambridge. p. 953–1028, 2021.

JOAQUIM JUNIOR, et al. Padrões de variabilidade espacial para densidade e umidade em um Latossolo Vermelho-Amarelo álico. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 14., Cuiabá, 2002. CD-ROM

KANEKO, F. H.; ARF, O.; GITTI, D. de C.; ARF, M. V.; FERREIRA, J. P.; BUZZETTI, S. Mecanismos de abertura de sulcos, inoculação e adubação nitrogenada em feijoeiro em sistema plantio direto. **Bragantia**, v. 69, n. 1, p. 125-133, 2010.

KELLER T., SANDIN M., COLOMBI T., HORN R., OR D. Historical increase in agricultural machinery weights enhanced soil stress levels and adversely affected soil functioning. **Soil and Tillage Research**, v. 194, n. 104293, p.1-13, 2019.

KELLER, T.; SUTTER, J. A.; NISSEN, K.; RYDBERG, T. Using field measurement of saturated soil hydraulic conductivity to detect low-yielding zones in three Swedish fields. **Soil and Tillage Research**, v. 124, n. 1, p. 68-77, 2012.

KLEIN, C.; KLEIN, V. A. Strategies to improve the retention and availability of soil water. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v. 19, n. 1, p. 21–29, 2015.

KOPPEN, W. *Grundriss der Klimakunde*. Berlin: Walter de Gruyter, 1931. 390p.

LANDERS, J.N. **Fascículo de experiências de plantio direto no cerrado Goiânia: A.P.D.C.**, 1995. 261p.

LIU, H.; COLOMBI, T.; JACK, O.; KELLER, T.; WEIH, M. Effects of soil compaction on grain yield of wheat depends on weather conditions. **Science Total Environment**, v. 807, n. 150763, p. 1-10, 2022.

MAPA. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Brasil projeções do agronegócio 2019/2020 a 2029/2030. Brasília, 2020. Disponível em: <[https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/noticias/ao-completar-160-anos-ministerio-da-agricultura-preve-crescimento-de-27-na-producao-de-graos-do-pais-na-proxima-decada/ProjecoesdoAgronegocioc2019\\_20202029\\_2030.pdf](https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/noticias/ao-completar-160-anos-ministerio-da-agricultura-preve-crescimento-de-27-na-producao-de-graos-do-pais-na-proxima-decada/ProjecoesdoAgronegocioc2019_20202029_2030.pdf)>. Acesso em: 19 de abril 2022.

MARQUES, J. J.; SCHULZE, D.; CURTI, N.; MERTZMAN, S. Major element geochemistry and geomorphic relationships in Brazilian Cerrado soils. **Geoderma**, v. 119, n. 3–4, p. 179–195, 2004.

MERTEN, G.H.; MIELNICZUK, J. Distribuição do sistema radicular e dos nutrientes em Latossolo Roxo sob dois sistemas de preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 15, n. 3, p.369-374, 1991.

MOREIRA, W. H.; TORMENA, C. A.; KARLEN, D. L.; SILVA, Á. P. DA; KELLER, T.; BETIOLI JUNIOR, E. Seasonal changes in soil physical properties under long-term no-tillage. **Soil and Tillage Research**, v. 160, p. 53–64, 2016.

MOREIRA, W. H.; TORMENA, C. A.; LIMA, R. P.; ANGHINONI, G.; IMHOFF, S. The influence of sowing furrow opening and wetting and drying cycles on soil physical quality under no-tillage in Southern Brazil. **Soil and Tillage Research**, v. 204, n. 6, p. 1-10, 2020.

NICOLOSO, R. S.; AMADO, T. J. C.; SCHNEIDER, S.; MASTRÂNG.; LANZANOVA, E. E.; GIRARDELLO, V. C.; BRAGAGNOLO, J.. 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**, v. 32, n. 6, p. 1723-1734, 2008.

NIELSEN, D.R.; TOLLOTSON, P.M.; VIEIRA, S.R. Analysing field-measured soil-water properties. **Agricultural Water Management**, v. 6, n. 1, p. 93-109, 1983.

NUNES, M. R.; DENARDIN, J. E.; PAULETTO, E. A.; FAGANELLO, A.; PINTO, L. F. S. Mitigation of clayey soil compaction managed under no-tillage. **Soil and Tillage Research**, v. 148, p. 119–126, 2015.

NUNES, M. R., PAULETTO, E. A.; DENARDIN, J. E.; SUZUKI, L. E. A. S.; VAN ES, H. M. Dynamic changes in compressive properties and crop response after chisel tillage in a highly weathered soil. **Soil and Tillage Research**, v. 186, n. 10, p. 183–190, 2019.  
PEREIRA NETO, O. C.; GUIMARÃES, M. F. Método para quantificar pequenas áreas (perfil do solo) utilizando SIG. **Semina-Agrárias**, v.26, n.4, p.495-500, 2005.

QUEIROZ-VOLTAN, R.B.; NOGUEIRA, S. S. S.; MIRANDA, M.A.C. Instituto Agrônomo de Campinas. Aspectos da estrutura da raiz e do desenvolvimento de plantas de soja em solos compactados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, n. 5, p. 929–938, 2000.

RAMBO, L.; COSTA, J. A.; PIRES, J. L. F.; ARCIANELLO, G.; FERREIRA, F. G. Rendimento de grãos da soja em função do arranjo de plantas. **Ciência Rural**, v. 33, n. 3, p. 405–411, 2003.

REICHERT, J.M.; SUZUKI, L. E. A. S.; REINERT, D.J.; HORN, R.; HÅKANSSON, I. Reference bulk density and critical degree-of-compactness for no-till crop production in subtropical highly weathered soils. **Soil and Tillage Research**, v.102, n. 2, p.242-254, 2009.

REYNOLDS, W.; ELRICK, D. **Methods of soil analysis**. In: Physical methods. Part 4. Madison: Soil Science Society of America Book, 2002. p. 797-801. (Series, n. 5).

ROSE, R. E. Cerrado e agricultura. 2019. Disponível em: < <http://sustentabilidade.com/cerrado-e-agricultura>>. Acesso em: 06 mar. 2023.

ROSOLEM, C.A.; ALMEIDA, A.C.S.; SACRAMENTO, L.V.S. Sistema radicular e nutrição da soja em função da compactação do solo. **Bragantia**, v.53, n. 2, p.259-266, 1994.

SANTOS, H. G. Sistema brasileiro de classificação de solos. 4rd. ed. Brasília, DF: Embrapa Solos, 2018.

SECCO, D.; REINERT, D.J. Efeitos imediato e residual de escarificadores em Latossolo Vermelho-escuro sob Plantio direto. **Engenharia Agrícola**, v. 16, n. 1, p. 52-61, 1997.

SEIXAS, J. Níveis de compactação do solo na cultura do milho (*Zea Mays* L.). Curitiba: UFPR, 2001. 80p. Dissertação Mestrado.

SEVERIANO, E.C.; OLIVEIRA, G. C.; DIAS JÚNIOR, M. S.; COSTA, K. A. P.; SILVA, F. G.; FERREIRA FILHO, S. M. Structural Changes in Latosols of the Cerrado Region: I – Relationships Between Soil Physical Properties and Least Limiting Water Range. **Revista**

**Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, n. 4, p. 773-782, 2011.

SILVA, F. R. et al. Semeadura direta com diferentes mecanismos sulcadores: alterações em propriedades de um latossolo bruno e produtividade das culturas. **Revista de Ciências Agroveterinárias.**, v. 17, n. 3, p. 428-434, 2018.

SOUSA, J.R.; QUEIROZ, J.E.; GHEYI, H.R. Variabilidade espacial de características físico-hídricas e de água disponível em um solo aluvial no semi-árido paraibano. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 3, n. 1, p. 140-144, 1999.

SOUZA, Z.M.; SILVA, M. L. S.; GUIMARÃES, G. L.; CAMPOS, D. T. S.; CARVALHO, M. P.; PEREIRA, G. T. Variabilidade espacial de atributos físicos em um Latossolo Vermelho distrófico sob semeadura direta em Selvíria (MS). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, n. 3, p. 699-707, 2001.

TRENTIN, R. G.; MODOLO, A. J.; VARGAS, T. D. O.; RICARDO, J. Soybean productivity in Rhodic Hapludox compacted by the action of furrow openers. **Acta Scientiarum - Agronomy**, v. 40, n. e35015, p. 1-9, 2018.

VIEIRA, S.R.; DE MARIA, I.C.; LOMBARDI NETO, F.; DECHEN, S.C.F. & CASTRO, O.M. **Caracterização da variabilidade espacial de propriedades físicas**. Campinas, 1992. p.41-51 (Documentos IAC, 29)

YADAV, G. S.; LAL, R.; MEENA, R. S.; RIMAL, B. Long-term effects of different passages of vehicular traffic on soil properties and carbon storage of a crosby silt loam in USA. **Pedosphere**, v. 29, n. 1, p. 150-160, 2019.