

UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CURSO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA

**ANÁLISE MULTIVARIADA DA RESISTÊNCIA À
PENETRAÇÃO EM SOLO DE PLANTIO DIRETO DA
SOJA SUBMETIDO A DIFERENTES NÍVEIS DE
COMPACTAÇÃO**

MACISTER GUARESI DE OLIVEIRA
MATEUS AGUIAR DO NASCIMENTO

**DOURADOS
MATO GROSSO DO SUL
2023**

UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CURSO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA

**ANÁLISE MULTIVARIADA DA RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO
EM SOLO DE PLANTIO DIRETO DA SOJA SUBMETIDO A
DIFERENTES NÍVEIS DE COMPACTAÇÃO**

MACISTER GUARESI DE OLIVEIRA
MATEUS AGUIAR DO NASCIMENTO

Trabalho de conclusão de curso apresentado à
Universidade Federal da Grande Dourados,
como parte das exigências do Curso de
Engenharia Agrícola.

Orientador: Prof. Dr. Cristiano Márcio Alves de Souza

DOURADOS
MATO GROSSO DO SUL
2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP).

O48a Oliveira, Macister Guaresi De

Análise multivariada da resistência à penetração em solo de plantio direto da soja submetido a diferentes níveis de compactação [recurso eletrônico] / Macister Guaresi De Oliveira, Mateus Aguiar do Nascimento. -- 2023.

Arquivo em formato pdf.

Orientador: Cristiano Marcio Alves de Souza.

Coorientador: Sálvio Napoleão Soares Arcoverde.

TCC (Graduação em Engenharia Agrícola)-Universidade Federal da Grande Dourados, 2023.

Disponível no Repositório Institucional da UFGD em:

<https://portal.ufgd.edu.br/setor/biblioteca/repositorio>

I. análise de fatores. 2. semeadura direta. 3. tráfego de máquinas. I. Nascimento, Mateus Aguiar do. II. Souza, Cristiano Marcio Alves De. III. Arcoverde, Sálvio Napoleão Soares. IV. Título.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

©Direitos reservados. Permitido a reprodução parcial desde que citada a fonte.

ANÁLISE MULTIVARIADA DA RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO EM SOLO DE PLANTIO DIRETO DA SOJA SUBMETIDO A DIFERENTES NÍVEIS DE COMPACTAÇÃO

Por

Macister Guaresi de Oliveira
Mateus Aguiar do Nascimento

Trabalho de conclusão de curso apresentado como parte dos requisitos exigidos para
obtenção do grau de Bacharel em ENGENHARIA AGRÍCOLA

Aprovado em: 25/08/2023.

Prof. Dr. Cristiano Márcio Alves de Souza
Orientador – UFGD/FCA

Prof. Dr. Natanael Takeo Yamamoto
UFGD/FCA

Me. Fernando Mateus Paniagua Mendieta
UFGD/FCA/PGAGRO

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todas as pessoas e aos fatores, que fizeram, nós chegarmos até o presente momento para realização e apresentação desse trabalho, em especial aos orientadores (Prof. Cristiano Márcio Alves de Souza; Prof. Sálvio Napoleão Soares Arcoverde), aos professores e profissionais da Universidade Federal da Grande Dourados.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Média (kPa), desvio padrão (DP), resistência do solo à penetração máxima (RP Max.; kPa), profundidade da máxima resistência do solo à penetração (Prof. Max.; cm) e conteúdo de água na camada de 40 cm de solo (U, g g ⁻¹), sob intensidades de tráfego de trator.	15
Tabela 2. Coeficientes de correlação da resistência do solo à penetração em profundidades e fatores (Fator 1, Fator 2, etc.) e comunalidade, entre as linhas de semeadura sem passagem adicional (0 passagem) de trator agrícola, com rotação ortogonal, sob plantio direto.	17
Tabela 3. Coeficientes de correlação da resistência do solo à penetração em profundidades e fatores (Fator 1, Fator 2, etc.) e comunalidade, entre as linhas de semeadura com duas passagens adicional (2 passagens) de trator agrícola, com rotação ortogonal, sob plantio direto.	19
Tabela 4. Coeficientes de correlação da resistência do solo à penetração em profundidades e fatores (Fator 1, Fator 2, etc.) e comunalidade, entre as linhas de semeadura com duas passagens adicional (4 passagens) de trator agrícola, com rotação ortogonal, sob plantio direto.	20
Tabela 5. Coeficientes de correlação da resistência do solo à penetração em profundidades e fatores (Fator 1, Fator 2, etc.) e comunalidade, entre as linhas de semeadura com duas passagens adicional (6 passagens) de trator agrícola, com rotação ortogonal, sob plantio direto.	21
Tabela 6. Coeficientes de correlação da resistência do solo à penetração em profundidades e fatores (Fator 1, Fator 2, etc.) e comunalidade, entre as linhas de semeadura com duas passagens adicional (8 passagens) de trator agrícola, com rotação ortogonal, sob plantio direto.	22
Tabela 7. Coeficientes de correlação da resistência do solo à penetração em profundidades e fatores (Fator 1, Fator 2, etc.) e comunalidade, entre as linhas de semeadura com doze passagens adicional (12 passagens) de trator agrícola, com rotação ortogonal, sob plantio direto.	24

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Precipitação pluviométrica (mm) por decêndio (1: 20/nov) e temperaturas mínima, média e máxima por decêndio ocorridas de novembro 2018 (semeadura) a março de 2019 (colheita) em Dourados, MS..... 11
- Figura 2.** Resistência do solo à penetração em Latossolo cultivado com soja, em plantio direto sob diferentes intensidades de tráfego de trator, conforme indicado..... 16
- Figura 3.** Resistência do solo à penetração, na camada de 0-10 cm em um Latossolo Vermelho distroférico sob plantio direto, com diferentes intensidades de tráfego de trator. $^{**}(p \leq 0,01)$ 25

SUMÁRIO

	Página
RESUMO	viii
ABSTRACT	ix
1. INTRODUÇÃO	1
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
2.1 Manejo de solo	3
2.2 Sistema de Plantio Direto	3
2.3 Compactação do solo	6
2.4 Resistência do solo à penetração	9
2.5 Análise multivariada do tipo fatorial	9
3 MATERIAL E MÉTODOS	11
3.1 Local e caracterização da área experimental	11
3.2 Delineamento experimental, equipamentos e insumos	12
3.3 Teste da resistência do solo à penetração e coleta de amostras de solo	13
3.4 Análise fatorial da resistência mecânica do solo à penetração	13
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	15
5 CONCLUSÕES	26
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	27

OLIVEIRA, Macister Guaresi de; NASCIMENTO, Mateus Aguiar do. **Análise multivariada da resistência à penetração em solo de plantio direto da soja submetido a diferentes níveis de compactação**. 2020. 29 f. Monografia (Graduação em Engenharia Agrícola), Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, MS.

RESUMO

O setor agrícola mundial tem buscado explorar culturas produtoras de grãos implantadas em sistemas de manejo conservacionistas, com o fim de garantir um ambiente físico-hídrico ótimo do solo ao bom desenvolvimento da planta e de suas sementes. No sistema de cultivo Plantio Direto, o solo é manejado com princípios conservacionistas, além de se obter redução de mobilização de solo no preparo, colaborando para a redução dos custos operacionais. No entanto, com o aumento de tráfego de máquinas sobre solos argilosos, em condições muitas vezes não indicadas por excesso de peso transferido ou por conter conteúdo de água maior que o limite de compactação, comprometendo a estrutura físico-hídrica do solo. O objetivo deste trabalho foi estudar os efeitos de diferentes níveis de compactação de um Latossolo Vermelho distroférico, com textura muito argilosa, provocados por tráfego de trator sobre a resistência do solo à penetração. O estudo foi realizado na Fazenda Experimental da Universidade Federal da Grande Dourados, em um Latossolo Vermelho Distroférico, utilizando-se o delineamento em blocos ao acaso. Os tratamentos foram compostos por plantio direto há 10 anos e por estados induzidos de compactação adicional por tráfego do trator com 2, 4, 6, 8 e 12 passagens sobre o solo. A resistência mecânica do solo à penetração (RP) foi mensurada usando um penetrômetro de campo, com aptidão eletrônica para aquisição de dados. Foram feitos cinco pontos de amostragens nas entrelinhas da cultura. Para os dados de RP para cada cm de profundidade (0-40 cm), foi feita a análise multivariada pelo método de análise fatorial. Foi realizada análise de regressão polinomial para a resistência do solo à penetração estratificada nas camadas de 0-0,10; 0,10-0,20; 0,20-0,30 e 0,30-0,40 m de profundidade em função do número de passadas, com base no coeficiente de determinação e significância ($p \leq 0,01$) dos coeficientes dos modelos. As análises de fatores aplicados ao estudo de solo com diferentes intensidades de tráfego de trator permitem identificar camadas de crescimento, de transição, de redução e de estabilização da resistência do solo à penetração com a profundidade. A resistência do solo à penetração aumentou linearmente com o aumento do número de passadas do trator.

Palavras-chave: análise de fatores, semeadura direta, tráfego de máquinas.

OLIVEIRA, Macister Guaresi de; NASCIMENTO, Mateus Aguiar do. **Multivariate analysis of soil resistance to penetration in no-till of soybean under different levels of compaction**. 2020. 29 pp. Monograph (Undergraduate in Agricultural Engineering), Federal University of Grande Dourados, Dourados, MS.

ABSTRACT

The world's agricultural sector has sought to exploit grain-producing crops planted in conservation management systems, to guarantee an optimum physical and water environment in the soil for the proper development of the plant and its seeds. In the no-till farming system, the soil is managed using conservation principles, in addition to reducing tillage during preparation, which helps to reduce operating costs. However, with the increase in machine traffic on clay soils, in conditions that are often not suitable due to the excess weight transferred or because the water content is higher than the compaction limit, the soil's physical and water structure is compromised. This work aimed to study the effects of different levels of compaction of an Oxisol, with a very clayey texture, caused by tractor traffic on the soil's resistance to penetration. The study was done at the Experimental Farm of the Federal University of Grande Dourados, on an Oxisol, using a randomized block design. The treatments consisted of no-till farming for 10 years and induced states of additional compaction by tractor traffic with 2, 4, 6, 8, and 12 passes over the soil. The soil resistance to penetration was measured using a penetrometer with electronic data acquisition capability. Five sampling points were done between the crop rows. For the resistance to penetration data for each centimeter deep (0-40 cm), multivariate analysis was carried out using the factor analysis method. Polynomial regression analysis was done for the soil resistance to penetration stratified in the 0-0.10, 0.10-0.20, 0.20-0.30, and 0.30-0.40 m depth layers as a function of passes numbers, based on the values of the coefficient of determination and significance ($p \leq 0.01$) of the model coefficients. Factor analyses applied to the study of soil with different intensities of tractor traffic make it possible to identify layers of growth, transition, reduction, and stabilization of soil resistance to penetration with depth. The resistance of the soil to penetration increased linearly as the number of tractor passes increased.

Keywords: factor analysis, direct sowing, machine traffic.

1. INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas no Brasil, o avanço das tecnologias utilizadas no campo proporcionou novas técnicas de manejo do solo e melhorias no sistema produtivo, possibilitando a expansão da área cultivada e preservação do ambiente (CARDOSO et al., 2006).

As produções anuais demandam planejamento e neste as produções agrícolas e agropecuárias da região Centro-Sul tem praticado um manejo do solo com uso de práticas conservacionistas, como o SPD - sistema de plantio direto (RAMOS et al., 2015).

O SPD consiste em produção, incorporação e permanência de matéria orgânica no solo, ou seja, não se realiza o preparo convencional que incorpora o material, por meio da operação de aragem e gradagens (GIRARDELLO et al., 2017).

Nesse sentido, a palhada das culturas antecessoras é mantida como cobertura de solo. Esse material garante proteção contra erosões, menores perdas de solo e nutrientes e reduz infiltração de água. Além disso, a adoção da prática auxilia na retenção de água, sendo outro benefício para a cultura (CARDOSO et al., 2006).

Apesar dos benefícios, o manejo do solo no SPD induz algumas transformações e reorganizações morfoestruturais do perfil do solo (ARCOVERDE et al., 2020), com a redução da macroporosidade, tal fato contribui para uma menor porção de volume do solo para ser explorado pelas raízes, se comparado ao sistema de preparo convencional (RAMOS et al., 2015).

Segundo Ramos et al. (2015), no SPD a compactação superficial do solo pode gerar problemas e possui correlação negativa com a produtividade, por gerar uma maior resistência mecânica oferecida ao desenvolvimento das raízes entre agregados e intra-agregados.

A compactação do solo é um processo resultante da aplicação de uma carga externa sobre o solo, provocando perda de sua porosidade por meio da redução do volume, com a expulsão de ar e de água, e quando a carga é retirada o solo não volta mais a sua condição inicial (VALENTE et al., 2019).

O crescimento radicular das plantas ocorre quando há a divisão e alongamento das células do meristema através da pressão de turgor nas células, que é a força direcional para se sobrepor a qualquer resistência externa. Outro fator é que as raízes são flexíveis, lubrificadas e podem alterar a direção para ultrapassar obstáculos, como agregados ou estruturas mais adensadas (REIS, 2019).

Apesar dos esforços que a planta realiza, quando há um impedimento mecânico como a compactação pode-se esperar um decréscimo na taxa de alongação celular, em função da baixa atividade biológica, ausência quase completa de orifícios e pouca porosidade nas estruturas compactadas (RAMOS et al., 2015).

Um fato importante é que aproximadamente 70 a 80% da massa radicular podem estar distribuídas nos primeiros 15 cm do solo, em condições normais de cultivo. Além da compactação, a temperatura, a umidade, a aeração e a disponibilidade de nutrientes também são capazes de inibir o crescimento das raízes. Assim, a compactação traz descontinuidade para os espaços vazios que são considerados fundamentais para o aprofundamento das raízes (SÁ et al., 2005).

Todos os processos descritos anteriormente são intimamente associados ao manejo do solo nas operações de preparo, semeadura, rotação de culturas e atividades de descompactação. O processo de compactação tem conceitos baseados em relações volumétricas e nas características texturais do solo (REIS, 2019).

O objetivo desta pesquisa foi estudar os efeitos de diferentes níveis de compactação de um Latossolo Vermelho distroférrico, com textura muito argilosa, provocados por tráfego de trator sobre a resistência do solo à penetração, usando análise multivariada.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste tópico da pesquisa foi abordado-se, brevemente, os conceitos sobre os conceitos breves de manejo do solo, plantio direto, compactação do solo e análise multivariada do tipo fatorial.

2.1 Manejo de solo

Na produção agrícola existem inúmeros momentos em que se utiliza a mecanização, mas a maior utilização está no preparo do solo realizado com finalidade de proporcionar um ambiente adequado para que a cultura cresça e se desenvolva, além de proporcionar uma produção economicamente viável e uma maior conservação do solo (REIS, 2019).

O manejo do solo pré-plantio é definido como a manipulação física, química ou biológica do solo que otimiza as condições para a germinação e emergência das sementes, assim como o estabelecimento das plântulas (CARDOSO et al., 2006).

A escolha de um sistema de preparo deve levar em consideração as respostas da cultura e do solo, visando diminuir perdas do solo por erosão, controle de plantas invasoras, capacidade de retenção e movimentação de água e, também, a recuperação física do solo.

Segundo Cardoso et al. (2006) o preparo periódico do solo diz respeito a diversas operações agrícolas de mobilização do solo, realizadas antes da implantação periódica de culturas. Esse tipo de preparo pode ser feito em 3 sistemas principais:

- convencional (aração, gradagem em toda a área a ser cultivada. É o tradicional);
- cultivo mínimo (as operações mecanizadas são realizadas, porém reduzidas ao mínimo necessário);
- plantio direto (onde a mobilização do terreno só ocorre localizadamente, ou seja, apenas na fileira de semeadura ou escarificação).

2.2 Sistema de Plantio Direto

O sistema de plantio direto, no qual o solo só é revolvido na linha de semeadura, é enquadrado como uma estratégia de agricultura conservacionista e sustentável, que tem sido amplamente adotada em diversas regiões do mundo, e em especial no Brasil, no geral, a melhor forma sustentável de se praticar agricultura (RAMOS et al., 2015).

O Plantio Direto é a semeadura, na qual a semente é colocada no solo não revolvido (sem prévia aração ou gradagem), usando-se semeadoras-adubadoras. Um pequeno sulco é aberto com profundidades e larguras suficientes para garantir a adequada cobertura e contato da semente com o solo (MAHL et al., 2002).

O solo é um recurso natural fundamental para a produção de alimentos e matéria-prima, por se tratar de um sistema trifásico (sólido, líquido e gasoso) e dinâmico, é imprescindível que suas características físicas, químicas e biológicas sejam preservadas. Assim sendo, é indispensável o uso de técnicas conservacionista que acrescente na qualidade do solo (BERTOLLO, 2019).

A prática de plantio direto veio com a necessidade de reduzir a erosão do solo, além de melhorar a eficiência da produção, reduzindo os custos e melhorando a disponibilidade de água entre outros fatores naturais (GASSES, 2010).

O sistema de plantio direto foi adaptada para a realidade brasileira e visa preparar o solo e proporcionar melhores características para o plantio, e além disso, diminui a incidência de plantas daninhas, sem expor o solo às chuvas e gerando menor probabilidade de erosão.

O SPD tem como características: baixo revolvimento do solo (somente na linha de semeadura); presença de palhaça sobre o solo e uso de rotação de cultura (MAHL et al., 2002). Ainda o SPD também é uma prática que demanda menor dispêndio financeiro com maquinários e combustível.

A palhada, é oriunda de plantas de cobertura semeadas especialmente para tal finalidade ou de resíduos de lavouras que são cultivadas anteriormente, ou mesmo pela rotação da cultura que irá beneficiar a cultura rotacionada. No Brasil, atualmente, a principal cultura geradora de palhada é o milho, que é cultivado em sucessão à cultura geradora da soja. Outra estratégia interessante é o consórcio com outras gramíneas (CARDOSO et al., 2006).

Ainda de acordo com o mesmo autor, a rotação de culturas pode ser definida como a utilização de espécies diferentes alternadas na mesma área em anos diferentes.

Além dos benefícios citados anteriormente, o sistema plantio direto garante:

- Menor custo de produção;
- Melhoria nas condições de fertilidade do solo;
- Melhor condicionamento físico do solo;
- Diversificação do sistema produtivo;
- Aumento da ciclagem e reciclagem de nutrientes;

- Melhora da umidade do solo;
- Possibilidade do uso de leguminosas em sistemas de sucessão e ou rotação de culturas gerando benefícios oriundos da fixação biológica de nitrogênio (FBN) e economia de N mineral;
- Representa um sistema sustentável;
- Menor infestação de plantas daninhas e economia com herbicidas.

Após ser iniciado, o SPD possui benefícios que vão além do aumento da fertilidade integral (química, física e biológica) do solo, é capaz de gerar também maior rendimento das culturas e a resiliência dos sistemas agropecuários (CARDOSO et al., 2006).

Por causa da significativa redução da erosão, o SPD pode gerar maior lucro e a estabilidade da produção é amplificada, em comparação aos métodos tradicionais de manejo de solo. Por seus efeitos benéficos sobre os atributos físicos, químicos e biológicos do solo, os quais geram sustentabilidade para os sistemas produtivos (GIRARDELLO et al., 2017).

Para a realização do plantio direto, as semeadoras-adubadoras são as máquinas utilizadas para realizar a implantação de culturas. Os terrenos para a implantação não recebem preparo periódico do solo e possuem cobertura vegetal. Para esse processo, mobiliza-se o minimamente o solo, apenas nas linhas de semeadura (GIRARDELLO et al., 2017).

Portanto, nesse tipo de sistema a semeadura é realizada logo após a colheita da cultura anterior. Normalmente as unidades das semeadoras são conjugadas as unidades adubadoras, daí o nome semeadora-adubadora (RAMOS et al., 2015).

Assim, cuidados com regulagens, corte das coberturas e retorno do solo e das palhas após abertura do sulco de semeadura tornam-se importantes. O entendimento dos fatores que afetam a semeadura facilita a compreensão do funcionamento de uma semeadora, visando-se obter um bom desempenho na implantação das culturas (REIS, 2019).

Independentemente do tipo, número de linhas, força de tração ou potência exigida, segundo Ramos et al. (2015) uma semeadora-adubadora de plantio direto deve:

- Cortar a palha;
- Abrir sulco com pequena remoção de solo e palhas;
- Dosar fertilizante e sementes;
- Depositar fertilizante e sementes em profundidades adequadas;

- Cobrir sementes com solo e palha;
- Compactar solo lateralmente à semente.

Problemas quanto ao desempenho e alta resistência à penetração dos componentes rompedores têm exigido constante adaptação das máquinas. Assim, são frequentes o corte irregular da vegetação, embuchamentos, abertura inadequada dos sulcos, aderência do solo aos componentes, profundidade de semeadura desuniforme, cobertura deficiente do sulco de semeadura e contato inadequado do solo sobre as sementes. Muitos destes problemas podem estar associados à falta de treinamento dos operadores e ao desconhecimento do potencial das máquinas (CARDOSO et al., 2006).

2.3 Compactação do solo

O termo compactação do solo é o processo de decréscimo do volume do solo não saturado submetido a uma pressão externa aplicada, sendo esta gerada por fatores naturais ou tráfego de equipamentos ou animais. A compactação é a modificação da estrutura do solo (RICHART et al., 2005).

Sá et al. (2005) afirmaram que no sistema de plantio direto é comum a ocorrência de compactação da camada superficial do solo e que dependendo do seu nível, poderá prejudicar o desenvolvimento das plantas. Segundo os autores, a compactação do solo é causada pela pressão dos rodados e outros componentes das máquinas agrícolas, podendo aumentar com a realização de operações agrícolas em solo com alto teor de água e, que seus efeitos, podem ser minimizados com a utilização de sistemas de rotação de culturas, inserindo-se entre outras espécies, o nabo forrageiro e aveia, os quais promovem descompactação biológica.

De acordo com Sá et al, (2005) a compactação de um solo é o processo manual ou mecânico que diminui os volumes de espaços vazios e aumentam a resistência, tornando-o mais estável. Os autores relatam que de maneira geral, existem cinco fatores para a compactação de um solo:

- Aumentar resistência à carga;
- Eliminar recalque do solo ou qualquer outro dano;
- Aumentar sua estabilidade ou dar a ele estabilidade;
- Redução do teor de umidade ou água com filtragem ou drenagem;
- Expulsão de ar.

Ainda, existem alguns elementos que aumentam as possibilidades de compactação do solo como: tipo de solo; umidade do solo; esforço de compressão para consolidação.

A compactação do solo é caracterizada pelo aumento da densidade do solo, pelos altos valores de resistência do solo à penetração, redução da infiltração de água, distribuição e tamanho de poros no solo e pela diminuição de difusão dos gases e disponibilidade de nutrientes (REIS, 2019).

Ainda de acordo com Reis (2019), dentre fatores como densidade, textura, matéria orgânica e umidade do solo, a resistência do solo à penetração é considerada a propriedade do solo adequada para expressar o grau de compactação existente no solo. Tornando-se fundamental tanto para recomendação de práticas de manejo do sistema de preparo mais adequado do solo, como para a avaliação dos efeitos na agricultura

A chuva é considerada um fator natural devido ao fato de o impacto gerado pelas gotas de chuva com o solo descoberto ocasionar a compactação e desagregar o solo. Contudo a principal causa de compactação é o tráfego de equipamentos, que se intensificou pela modernização da agricultura (NASCIMENTO, 2020).

O incremento do trânsito de máquinas agrícolas, o aumento do tamanho e peso destas máquinas, associado ao reduzido tempo para execução das atividades tem ocasionado que, geralmente, as operações sejam executadas sem respeitar as condições de umidade do solo ideais, resultando em compactação do solo. A compactação do solo é considerada o principal desafio a ser enfrentado em áreas mecanizadas manejadas sob sistema plantio direto, que visam elevadas produtividades (GIRARDELLO et al., 2017).

Ainda segundo Girardello et al. (2017) a compactação tem como consequências o decréscimo de produtividade, aumento da resistência a penetração do solo que ocasiona a redução no desenvolvimento radicular das plantas. Eliminar completamente o tráfego de máquinas nos sistemas agrícolas comercial é inviável, porém alternativamente o número, a intensidade e a aleatoriedade do tráfego podem ser reduzidos, bem como as manobras nas extremidades da área.

Com o uso de ferramentas da agricultura de precisão com destaque ao sistema de piloto automático e a base *Real Time Kinematic* (RTK), é possível a implantação do sistema de tráfego controlado em larga escala. O tráfego controlado baseia-se no planejamento do trânsito de todas as máquinas e equipamentos envolvidos no processo produtivo, fazendo com que haja coincidência do rastro dos rodados, confinando a

compactação a locais específicos denominados de linhas de tráfego (GIRARDELLO et al., 2017).

O sistema de tráfego controlado em culturas de grãos ainda é incipiente no sul do Brasil, sendo as principais dificuldades para a sua adoção em larga escala: o correto dimensionamento das máquinas agrícolas, a ocorrência de relevo suave ondulado que implica em operar máquinas agrícolas em curvas e a ausência de informações sobre o retorno econômico desta prática (GIRARDELLO et al., 2017).

Entre as principais adaptações necessárias destacam-se os ajustes das bitolas dos rodados para que haja coincidência, e a necessidade de estabelecer um módulo de largura da barra de aplicação dos pulverizadores, número e distância entre linhas nas semeadoras e largura da plataforma de corte da colhedora. O ajuste na bitola dos pneus traseiros, definida como a distância entre o centro do pneu até o centro do pneu do lado oposto, é o processo de maior complexidade, sendo, porém, esta intervenção essencial para a implementação do sistema proposto (GIRARDELLO et al., 2017).

A semeadura e a colheita também devem receber atenção no processo, pois o espaçamento e o número de linhas devem ser iguais ou múltiplos da largura da plataforma de colheita. O pulverizador é a máquina que apresenta maior flexibilidade neste ajuste, uma vez que as alterações são realizadas diretamente no comprimento da barra de pulverização. A linha de tráfego do pulverizador é utilizada como balizadora da linha de trânsito (*"tramline"*) na qual todas as demais máquinas devem trafegar. Embora tecnicamente viável, a adoção do tráfego controlado tem sido reduzida em parte pela falta de informações sobre o desempenho das culturas econômicas (RAMOS et al., 2015).

Segundo Cardoso et al. (2006), os principais efeitos negativos da compactação do solo são: aumento da resistência mecânica ao crescimento radicular, redução da aeração, disponibilidade de água e nutrientes e, conseqüentemente, decréscimo na produtividade agrícola.

Atualmente está sendo preconizado o emprego de semeadoras equipadas com facão associado ao disco de corte, para descompactação na linha de semeadura. Sistemas dessa natureza permitem a mitigação da compactação do solo mediante o aumento da porosidade e a redução da densidade e da resistência mecânica do solo à penetração no local específico onde crescerão as raízes da planta cultivada. Contudo, tais efeitos são significativos quando a compactação estiver restrita à camada superficial (VALENTE et al., 2019).

2.4 Resistência do solo à penetração

A RP - resistência do solo à penetração varia sob influência do manejo utilizado e da intensidade de tráfego de equipamentos agrícolas. Ela é dependente da umidade do solo, o acúmulo de pressão provocado pelo tráfego de máquinas e, ou, pisoteio de animais ocasiona pontos de maior estado de compactação, áreas ditas como “cabeceiras” são locais de maior intensidade de RP, devido a intensidade de passagem de equipamentos, visto que é local de manobras (SILVA et al., 2023).

A RP é considerada por Silva et al (2023) como sendo um atributo físico do solo que está relacionada com o crescimento das plantas e a densidade do solo. Ainda é influenciada pelos manejos realizados no preparo do solo. A RP depende da textura, estrutura e mineralogia e esses fatores estão ligados à umidade do solo.

O mesmo autor ainda afirma que os solos que são menos úmidos, a água permanece retida com maior tensão nos poros, e unido à tensão e forças existentes entre seus sólidos faz com que em solos mais secos a RP seja maior.

Corroborando a Valente et al. (2019), a RP é um dos principais indicadores para se diagnosticar e avaliar a compactação do solo. Desta forma, descreve-se a resistência física que o solo exerce sobre a raiz que tenta se mover através dele, sendo diretamente influenciado pela densidade, porosidade e, principalmente, pela umidade do solo no momento da avaliação.

2.5 Análise multivariada do tipo fatorial

A análise multivariada do tipo fatorial para esse estudo teve como objetivo identificar e comparar a resistência à penetração das diferentes camadas.

Sendo assim, a análise multivariada proporciona:

- a. redução de dados ou simplificação estrutural: o fenômeno sob estudo é representado da maneira mais simples possível, sem sacrificar informações valiosas e tornando as interpretações mais simples;
- b. ordenação e agrupamento: agrupamento de objetos (tratamentos) ou variáveis similares, baseados em dados amostrais ou experimentais;
- c. investigação da dependência entre variáveis: estudos das relações estruturais entre variáveis muitas vezes é de interesse do pesquisador;

- d. predição: relações entre variáveis devem ser determinadas para predição de uma ou mais variável com base na observação de outras variáveis;
- e. construção e teste de hipóteses.

Os modelos experimentais multivariados tem como propósito através do qual o pesquisador pode testar ou inferir a respeito de uma hipótese sobre determinado fenômeno. No entanto, a sua utilização adequada depende do bom conhecimento das técnicas e das suas limitações.

Basicamente, Weirich Neto et al. (2006) explica que a análise multivariada resume o conjunto de variáveis, considerando a variância do conjunto de dados. Considera-se os intervalos de profundidade como uma variável independente, onde a execução da análise multivariada do tipo fatorial teria como função agrupar intervalos de profundidade (variáveis independentes) cujos valores da resistência do solo à penetração apresentassem variabilidades semelhantes. Para tal determina-se, pela análise, a correlação entre os valores das resistências do solo à penetração em cada intervalo de profundidade e um dos fatores.

Quando esta correlação mostra valores elevados, interpreta-se que as camadas variavam juntas, isto é, existe a tendência de formação de uma camada. Neste caso, pode-se representar a camada por um valor médio, bem como ser utilizada para outras análises, correlações com componentes de rendimento, conteúdo de água, outros parâmetros do solo, estudos de visualizações gráficas (mapas), etc. (WEIRICH NETO et al. 2006).

Para escolha dos valores de correlação representativos, deve-se considerar qual o fator em análise, pois o método considera o primeiro fator aquele em que as correlações com as variáveis são mais fortes, com valores de coeficiente de correlação maiores.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Local e caracterização da área experimental

O experimento foi realizado entre novembro a março na Fazenda Experimental de Ciências Agrárias da Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, MS. O local situa-se em latitude de 22°14'S, longitude de 54°59'W e altitude de 434 m.

O clima da região é do tipo Am, monçônico, com inverno seco, e precipitação média anual de 1500 mm, e temperatura média anual de 22°C (ALVARES et al., 2013). Os dados climáticos de temperatura e precipitação no período de condução do experimento encontram-se na Figura 1.

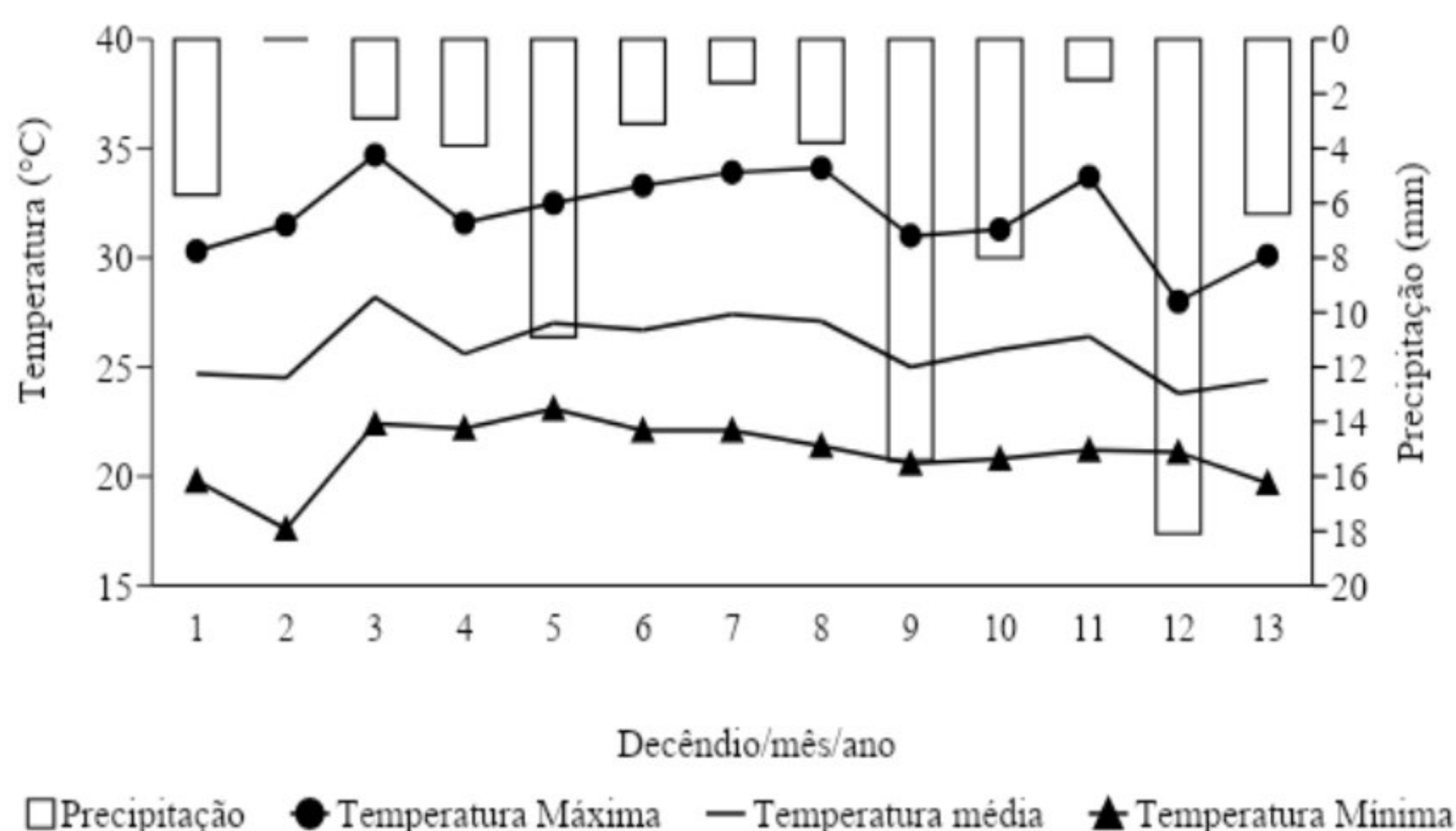


Figura 1. Precipitação pluviométrica (mm) por decêndio (1: 20/nov) e temperaturas mínima, média e máxima por decêndio ocorridas de novembro 2018 (semeadura) a março de 2019 (colheita) em Dourados, MS.

Foi em Latossolo Vermelho Distroférrico (SANTOS et al., 2018), tendo na camada de 0,00 a 0,20 m, 60% de argila, 15% de silte e 25% de areia. A área vem sendo conduzida há aproximadamente 10 anos com soja (*Glycine max*) no verão e milho (*Zea mays*) na segunda safra em sucessão.

3.2 Delineamento experimental, equipamentos e insumos

O delineamento experimental foi em blocos casualizados, sendo os tratamentos compostos por plantio direto há 10 anos (zero passagem) e estados induzidos de compactação adicional por tráfego de trator sobre um solo sob plantio direto com duas, quatro, seis, oito e doze passagens, com cinco repetições, totalizando 30 parcelas experimentais. Cada parcela foi constituída por 10 m de comprimento do leito de semeadura usando uma semeadora-adubadora dotada de 9 linhas espaçadas de 0,45 m, apresentando área útil amostral de 40,5 m².

A prática de compactação adicional foi realizada, conforme descrito em Arcoverde et al. (2020), quando o solo possuía teor de água na camada de 0,00 a 0,20 m de $26,0 \pm 1,5\%$, utilizando-se o trator agrícola modelo NH 8030 de potência no motor de 89,79 kW (122 cv), com rodado de pneus diagonais, bitola traseira de 1,73 metros, bitola dianteira de 1,83 metros e massa de 6,78 Mg com lastro e pressão de insuflagem de 83 kPa nos pneus dianteiros (14.9-28 R1) e 83 kPa nos traseiros (23.1-30 R1), sendo 43% da massa distribuídas no eixo dianteiro e 57% no eixo traseiro.

Para garantir os estados de compactação adicional, foi acoplado roçadora com massa de 0,5 Mg ao sistema hidráulico de três pontos desse trator, o que correspondeu a 7,28 Mg de massa sobre o solo em cada passagem do trator. A pressão de contato dos pneus dianteiro e traseiro com o solo foi de 113 e 109 kPa, respectivamente, conforme (O'SULLIVAN et al., 1999).

O deslocamento do trator sobre a área de compactação do solo foi realizado na 3ª marcha reduzida com uma rotação de 2.200 rpm, obtendo-se assim a velocidade de 5,3 km h⁻¹. Os pneus comprimiram áreas paralelas entre si, sendo o número de vezes trafegado em função do número de passagens do tratamento. O tráfego foi sobreposto ao anterior, de forma que toda área de cada parcela foi trafegada com número igual de vezes (VALADÃO et al., 2015).

A semeadura da soja foi realizada no sentido contrário ao tráfego do trator para a compactação, visando garantir que as plantas atingissem toda a área compactada. Foi semeada a cultivar Monsoy 6410 IPRO (grupo de maturação 6.4, crescimento indeterminado e ciclo 105-120 dias) no dia 21 de novembro de 2018, utilizando-se uma semeadora-adubadora de plantio direto com nove linhas. O mecanismo sulcador do solo da semeadora foi retirado para não eliminar os possíveis efeitos negativos da compactação, sendo utilizado somente o disco de corte do dosador de sementes

(BERGAMIN et al., 2010). A densidade de semeadura foi de 13 sementes por metro, com espaçamento entre linhas de 0,45 m. Como área útil, foram consideradas as três linhas centrais com 3,0 m cada no centro da parcela.

3.3 Teste da resistência do solo à penetração e coleta de amostras de solo

Na área útil de cada parcela, realizou-se o teste de resistência mecânica do solo à penetração (ASABE, 2006), utilizando o penetrômetro de campo modelo PenetroLOG - PLG 1020, com aptidão eletrônica para aquisição de dados.

Foram feitos cinco pontos de amostragens nas entrelinhas da cultura. Após as determinações da RP, os dados armazenados na CPU do penetrômetro foram extraídos e analisados a uma profundidade de 0,40 m.

Simultaneamente às determinações de RP, amostras de solo deformadas estratificadas nas camadas de 0-0,10; 0,10-0,20; 0,20-0,30 e 0,30-0,40 m de profundidade foram coletadas para determinação do conteúdo de água no solo, utilizando o método gravimétrico.

Foi realizada análise de regressão polinomial para a resistência do solo à penetração estratificada nas camadas de 0-0,10; 0,10-0,20; 0,20-0,30 e 0,30-0,40 m de profundidade em função do número de passadas, com base no coeficiente de determinação e significância ($p \leq 0,01$) dos coeficientes dos modelos.

3.4 Análise fatorial da resistência mecânica do solo à penetração

Para os dados de RP para cada cm de profundidade (0-40 cm), procedeu-se análise multivariada pelo método de análise fatorial por meio do software *Statistica 7*. Considerou-se cada intervalo de profundidade como uma variável independente, onde a execução da análise multivariada do tipo fatorial teria como função agrupar intervalos de profundidade (variáveis independentes), cujos valores da RP apresentassem variabilidades semelhantes. Para tal determinou-se, pela análise, a correlação entre os valores das RP em cada intervalo de profundidade e um dos fatores. Quando esta correlação mostra valores elevados, interpreta-se que as camadas variavam juntas, isto é, existe a tendência de formação de uma camada (WEIRICH NETO et al., 2006).

Quando os coeficientes de correlação dos fatores entre os valores estudados encontravam-se acima de 0,5 e eles eram semelhantes, interpretou-se como a formação

de uma camada (ROS, 2007). Ainda por este autor, optou-se por analisar apenas os fatores com variância relativa acima de 10%, evitando assim valores baixos, de pouca explicação prática. Para a obtenção de uma estrutura de fatores mais simples e de mais fácil interpretação (FIGUEIREDO FILHO e SILVA JUNIOR, 2010), utilizou-se o método de rotação ortogonal dos dados, denominado de Varimax (ARCOVERDE et al., 2015; SALVIANO et al., 2018), redistribuindo as variâncias (MELLO et al., 2015).

Para facilitar a interpretação dos dados, foram determinados a comunalidade e o autovalor junto ao Fator, sendo a comunalidade a quantidade total de variância que uma variável original compartilha com todas as outras variáveis incluídas na análise. A comunalidade gerada com valores abaixo de 0,50 identifica variáveis com explicação insuficiente (FIGUEIREDO FILHO e SILVA JUNIOR, 2010).

O autovalor representa a quantidade de variância dada por um Fator, pela regra de Kaiser, então foi determinada a quantidade de Fatores que apresentaram autovalores acima de 1,0 (SILVA et al., 2016). O coeficiente de correlação dos fatores representa linearmente as variáveis originais geradas a partir dos dados de RP, sendo interpretados os valores acima de 0,50 como tendo significância prática.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na camada 0-40 cm de solo, que os valores médios de conteúdo de água no solo estão próximos, exceto no tratamento com 6 passagens de trator que obteve menor valor, fato que pode explicar os maiores valores de RP média e RP máxima (Tabela 1). No entanto, quando o conteúdo de água no solo foi maior (0 e 12 passagens de trator), observou-se menores valores de RP média e RP máxima. Esses resultados corroboram com Souza et al. (2022).

Ainda analisando a Tabela 1, apenas o tratamento com 12 passagens obteve nos primeiros 10 cm de solo a RP máxima, enquanto verificou-se está entre 19 e 33 cm nos demais tratamentos de intensidades de tráfego de trator.

Tabela 1. Média (kPa), desvio padrão (DP), resistência do solo à penetração máxima (RP Max.; kPa), profundidade da máxima resistência do solo à penetração (Prof. Max.; cm) e conteúdo de água na camada de 40 cm de solo (U, g g⁻¹), sob intensidades de tráfego de trator.

	Número de passagens do trator					
	0	2	4	6	8	12
Média	2271,29	2647,17	2555,05	2858,86	2402,05	2389,82
DP	544,64	500,012	529,50	619,47	404,57	378,99
RP Max.	2912,56	3205,27	2998,20	3503,00	2713,13	2829,13
Prof. Max.	19	33	24	33	28	8
U	0,27	0,26	0,26	0,24	0,26	0,27

A RP ao longo da profundidade nas seis intensidades de tráfego de trator indica comportamento diferenciado de maneira geral, entre o tratamento sem a compactação adicional (0 passagem) e os demais tratamentos (Figura 2).

Na camada (0-10 cm), valores de RP superiores a 2000 kPa nos tratamentos com compactação adicional, e valor inferior a este no tratamento com 0 passagem. Nos tratamentos com maior número de passagens de trator (8 e 12), a maior variação nos valores de RP foi na camada (0-10 cm), seguido de estabilização sobretudo com 12 passagens.

Na Tabela 2 são apresentados os cinco fatores e a variância a eles atribuída, bem como a comunalidade da profundidade estudada para os valores de RP amostrada entre as linhas da cultura sem compactação adicional (0 passagem de trator). Pode-se identificar duas camadas de solo, conforme os três primeiros fatores. O primeiro fator (Fator 1), que representa 53,78% da variância total, demonstra claramente a existência de uma camada de 7 a 22 cm, camada está, segundo Weirich Neto et al. (2006), caracterizada pelo contato

entre o sistema de abertura de sulco e o solo, tendo este último servido de apoio para o sistema.

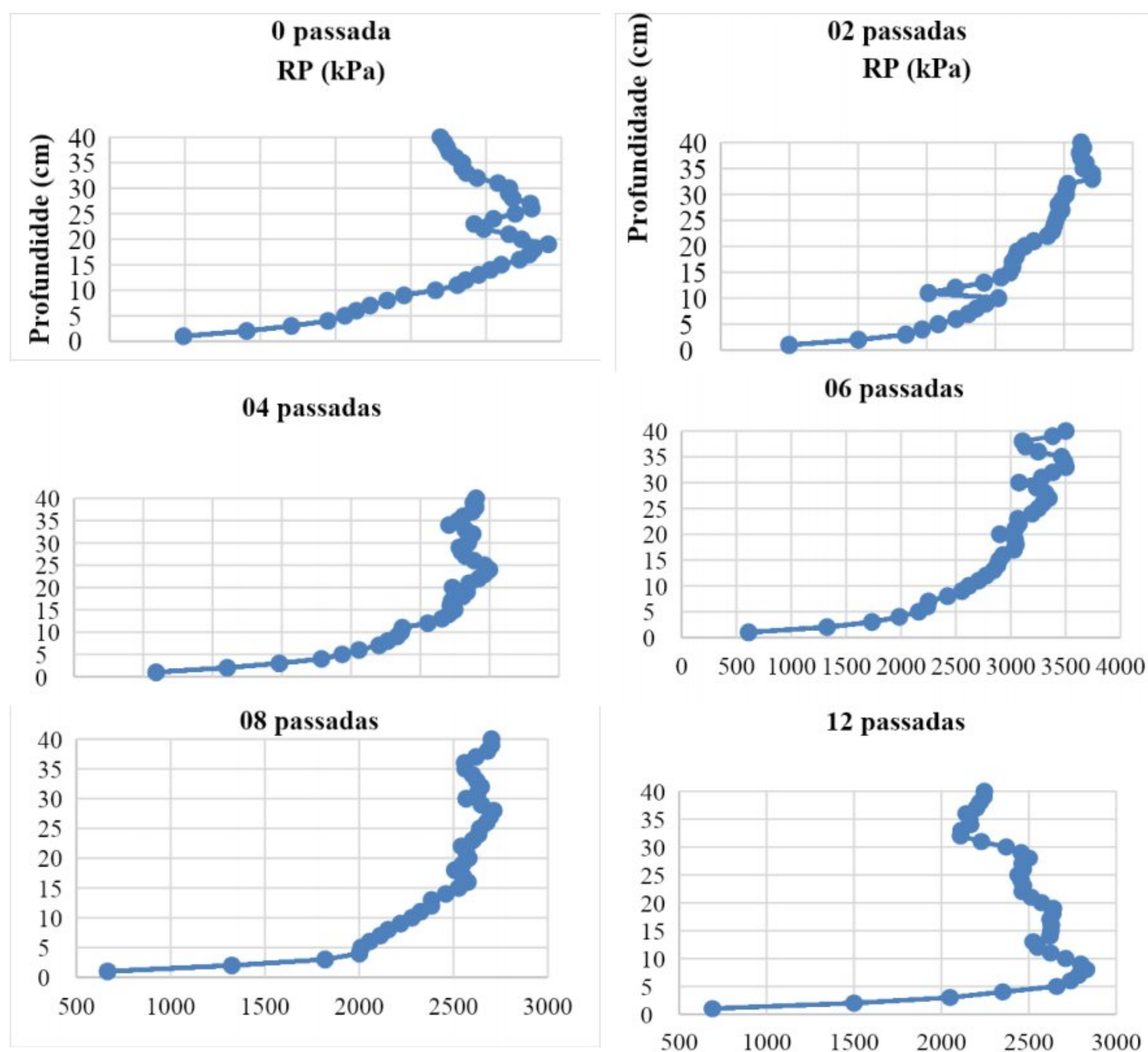


Figura 2. Resistência do solo à penetração em Latossolo cultivado com soja, em plantio direto sob diferentes intensidades de tráfego de trator, conforme indicado.

Com 15,127% da variância, o segundo fator caracteriza a existência de uma camada de 30 a 40 cm, profundidade onde o preparo do solo utilizado anteriormente tende a não interferir, isto é, onde os fenômenos pedogenéticos possivelmente são responsáveis pela caracterização de tal camada.

O terceiro fator, que representa uma variância de 11,60% do total, define uma camada de 0 a 5 cm, o que é reflexo da desestruturação do solo nesta camada pelo mecanismo sulcador para deposição da semente em anos anteriores.

Tabela 2. Coeficientes de correlação da resistência do solo à penetração em profundidades e fatores (Fator 1, Fator 2, etc.) e comunalidade, entre as linhas de semeadura sem passagem adicional (0 passagem) de trator agrícola, com rotação ortogonal, sob plantio direto.

0 passagem						
Prof (cm)	Fator 1	Fator 2	Fator 3	Fator 4	Fator 5	Comunalidades
0-1	-0,354	0,150	-0,790	0,051	-0,037	0,776
1-2	-0,150	0,055	-0,949	0,011	0,059	0,928
2-3	-0,086	0,009	-0,937	-0,047	0,025	0,887
3-4	0,026	-0,121	-0,902	-0,002	-0,236	0,883
4-5	-0,088	-0,029	-0,711	-0,157	-0,592	0,888
5-6	0,061	0,079	-0,450	-0,230	-0,769	0,856
6-7	0,226	-0,075	-0,111	-0,053	-0,927	0,930
7-8	0,511	-0,100	0,177	0,193	-0,723	0,863
8-9	0,670	0,001	0,204	0,389	-0,394	0,797
9-10	0,770	0,159	0,215	0,379	-0,300	0,898
10-11	0,875	0,251	0,117	0,209	-0,237	0,942
11-12	0,897	0,254	0,025	0,160	-0,221	0,945
12-13	0,831	0,224	0,005	0,301	-0,211	0,876
13-14	0,835	0,194	0,000	0,333	-0,176	0,877
14-15	0,908	0,220	0,000	0,255	-0,118	0,951
15-16	0,931	0,188	0,047	0,274	-0,047	0,980
16-17	0,916	0,211	0,100	0,256	0,011	0,959
17-18	0,885	0,175	0,119	0,325	0,052	0,936
18-19	0,843	0,162	0,126	0,368	0,057	0,892
19-20	0,766	0,445	0,084	0,189	0,128	0,844
20-21	0,742	0,500	0,116	0,133	0,123	0,846
21-22	0,508	0,715	0,217	-0,081	0,106	0,834
22-23	0,433	0,782	0,224	0,127	0,054	0,868
23-24	0,485	0,669	0,091	0,435	0,012	0,880
24-25	0,462	0,422	-0,012	0,742	0,004	0,942
25-26	0,430	0,275	-0,044	0,844	0,007	0,974
26-27	0,378	0,227	-0,007	0,889	0,042	0,986
27-28	0,332	0,464	0,000	0,792	0,074	0,957
28-29	0,326	0,396	0,028	0,848	0,037	0,983
29-30	0,351	0,333	0,084	0,852	0,008	0,967
30-31	0,338	0,513	0,108	0,761	-0,013	0,967
31-32	0,135	0,859	0,065	0,432	0,016	0,946
32-33	0,050	0,934	0,054	0,300	0,027	0,967
33-34	0,034	0,955	0,053	0,238	0,066	0,977
34-35	0,102	0,923	0,001	0,255	0,048	0,929
35-36	0,160	0,900	-0,080	0,303	0,040	0,936
36-37	0,205	0,894	-0,060	0,274	0,006	0,920
37-38	0,258	0,905	-0,136	0,179	-0,031	0,936
38-39	0,343	0,889	-0,100	0,167	-0,084	0,953
39-40	0,418	0,836	-0,150	0,100	-0,156	0,930
Autovalores	21,514	6,051	4,642	2,765	1,655	
Var. explicada	53,784	15,127	11,605	6,911	4,137	

O primeiro fator (F1), que representa 43,71% da variância total, demonstra a existência de uma camada entre 22 e 40 cm (Tabela 3), possivelmente oriunda de processos pedogenéticos já que, em plantio direto, ocorre uma mobilização superficial do solo pelos sulcadores, ou seja, não é comum o preparo do solo atingir as camadas mais profundas (BERGAMIN et al., 2010).

Com 33,93% da variância, o segundo Fator (F2) caracteriza a existência de uma camada de 0 a 15 cm, cujo crescimento da RP até 10 cm pode ser explicada pelas forças externas oriunda do manejo, a partir da qual com decréscimo de RP, possivelmente em razão da dissipação da pressão dos rodados do trator ser proeminente na camada superficial do solo (BERGAMIN et al., 2010).

O fator 3, com 12,12% da variância, demonstra a existência de uma camada intermediária de 10 a 22 cm, pode ser reflexo do manejo anteriormente, ou ainda, conforme relatam Weirich Neto et al. (2006), ser um efeito residual seu, bem como pode ser influência de uma zona de transição entre horizonte A e B do solo, característica dos Latossolos, solos profundos e bem formados.

O primeiro fator (Fator 1), que representa 57,82% da variância total, demonstra a existência de uma camada entre 11 e 25 cm (Tabela 3), que pode ser reflexo do manejo anterior adotado ao longo dos anos com plantio direto. Já o fator 2, com 14,05%, demonstra a formação de camada entre 6 e 13 cm, que pode ser atribuída à ação dos mecanismos sulcadores de solo em superfície em cultivos anteriores, os quais visam obter um leito de semeadura na camada superficial do solo mais coesa, onde há tendência de aumento dos valores de RP em plantio direto (SECCO et al., 2009).

As camadas formadas conforme as análises de fatores nos tratamentos com 6 e 8 passagens de trator (Tabela 5 e 6), onde os respectivos fatores 1 evidenciaram a formação de uma camada abaixo de 17 cm de profundidade, possivelmente atribuído a processos pedogenéticos; enquanto os fatores 2 evidenciaram a formação de camada de crescimento entre 5 e 12 cm, relacionado à menor inclinação da RP devido à compactação superficial do solo (Figura 2), o que também ocorreu com 4 passagens de trator.

Tabela 3. Coeficientes de correlação da resistência do solo à penetração em profundidades e fatores (Fator 1, Fator 2, etc.) e comunalidade, entre as linhas de semeadura com duas passagens adicional (2 passagens) de trator agrícola, com rotação ortogonal, sob plantio direto.

Prof (cm)	02 passagens				Comunalidades
	Fator 1	Fator 2	Fator 3	Fator 4	
0-1	0,051	0,924	-0,261	-0,138	0,943
1-2	0,087	0,924	-0,268	-0,044	0,935
2-3	0,016	0,960	-0,173	0,007	0,951
3-4	-0,004	0,972	-0,154	0,064	0,972
4-5	0,064	0,957	-0,163	0,062	0,950
5-6	0,108	0,963	-0,117	0,062	0,957
6-7	0,141	0,960	-0,049	0,090	0,952
7-8	0,156	0,958	0,099	0,133	0,970
8-9	0,173	0,953	0,106	0,114	0,962
9-10	0,058	0,935	0,135	0,058	0,899
10-11	-0,025	-0,698	0,603	0,171	0,881
11-12	-0,048	-0,702	0,614	0,166	0,901
12-13	0,024	-0,654	0,676	0,096	0,895
13-14	0,071	-0,633	0,670	0,101	0,865
14-15	0,175	-0,557	0,745	-0,070	0,900
15-16	0,175	-0,431	0,852	-0,108	0,953
16-17	0,081	-0,304	0,920	-0,115	0,959
17-18	0,196	-0,105	0,936	-0,125	0,941
18-19	0,254	0,041	0,905	0,138	0,904
19-20	0,330	0,037	0,882	0,279	0,965
20-21	0,225	0,086	0,842	0,376	0,909
21-22	0,463	0,093	0,668	0,517	0,936
22-23	0,671	0,139	0,329	0,629	0,974
23-24	0,764	0,200	0,165	0,576	0,982
24-25	0,801	0,128	0,175	0,550	0,992
25-26	0,851	0,035	0,142	0,494	0,989
26-27	0,895	-0,019	0,082	0,423	0,987
27-28	0,919	-0,021	0,080	0,362	0,983
28-29	0,944	0,000	0,020	0,310	0,988
29-30	0,960	0,094	0,023	0,239	0,989
30-31	0,781	-0,282	-0,056	-0,222	0,742
31-32	0,986	-0,096	0,057	0,047	0,986
32-33	0,952	0,132	0,024	-0,174	0,954
33-34	0,971	0,076	0,082	-0,148	0,978
34-35	0,973	0,079	0,164	0,005	0,979
35-36	0,962	0,129	0,172	-0,044	0,973
36-37	0,947	0,122	0,249	-0,012	0,974
37-38	0,924	0,163	0,235	-0,060	0,939
38-39	0,911	0,139	0,253	-0,050	0,915
39-40	0,898	0,079	0,262	-0,060	0,885
Autovalores	17,485	13,573	4,850	1,799	
Var. explicada	43,714	33,933	12,125	4,496	

Tabela 4. Coeficientes de correlação da resistência do solo à penetração em profundidades e fatores (Fator 1, Fator 2, etc.) e comunalidade, entre as linhas de semeadura com duas passagens adicional (4 passagens) de trator agrícola, com rotação ortogonal, sob plantio direto.

Prof (cm)	4 passagens					Comunalidades
	Fator 1	Fator 2	Fator 3	Fator 4	Fator 5	
0-1	-0,137	0,502	0,552	0,446	-0,145	0,816
1-2	-0,152	0,296	0,388	0,716	-0,224	0,836
2-3	0,043	0,124	0,199	0,930	-0,016	0,926
3-4	0,180	0,115	0,070	0,944	0,089	0,939
4-5	0,120	0,419	0,156	0,817	0,235	0,924
5-6	0,093	0,669	0,092	0,595	0,245	0,838
6-7	0,088	0,791	0,244	0,425	0,171	0,891
7-8	0,052	0,891	0,196	0,273	0,053	0,918
8-9	0,310	0,851	0,194	0,184	0,007	0,884
9-10	0,264	0,913	0,128	0,115	0,103	0,947
10-11	0,217	0,903	0,039	0,011	0,085	0,873
11-12	0,515	0,690	0,384	0,110	0,205	0,951
12-13	0,627	0,501	0,388	0,079	0,328	0,907
13-14	0,681	0,401	0,341	0,038	0,372	0,882
14-15	0,734	0,469	0,309	-0,004	0,305	0,947
15-16	0,861	0,358	0,272	-0,076	0,167	0,945
16-17	0,895	0,277	0,285	0,047	0,091	0,929
17-18	0,930	0,213	0,199	0,088	0,078	0,933
18-19	0,940	0,099	0,273	0,067	0,111	0,963
19-20	0,663	-0,128	0,267	-0,010	0,164	0,555
20-21	0,838	-0,042	0,313	0,107	0,379	0,957
21-22	0,800	0,057	0,311	0,089	0,445	0,940
22-23	0,761	0,143	0,236	0,138	0,511	0,919
23-24	0,709	0,136	0,255	0,148	0,521	0,868
24-25	0,595	0,126	0,346	0,068	0,653	0,870
25-26	0,464	0,152	0,428	-0,005	0,729	0,858
26-27	0,424	0,164	0,513	-0,021	0,722	0,892
27-28	0,376	0,165	0,571	0,041	0,697	0,965
28-29	0,365	0,184	0,596	0,145	0,665	0,965
29-30	0,346	0,200	0,658	0,155	0,608	0,952
30-31	0,392	0,204	0,720	0,153	0,498	0,938
31-32	0,357	0,208	0,773	0,172	0,432	0,939
32-33	0,321	0,109	0,827	0,137	0,402	0,968
33-34	0,366	-0,163	0,631	-0,072	0,461	0,826
34-35	0,343	0,102	0,840	0,092	0,349	0,963
35-36	0,252	0,196	0,910	0,121	0,225	0,993
36-37	0,203	0,180	0,936	0,136	0,159	0,993
37-38	0,243	0,142	0,935	0,129	0,123	0,984
38-39	0,249	0,148	0,932	0,137	0,087	0,982
39-40	0,229	0,159	0,936	0,104	0,082	0,974
Autovalores	23,891	5,678	3,983	2,104	1,449	
Var. explicada	57,827	14,056	9,758	5,603	4,130	

Tabela 5. Coeficientes de correlação da resistência do solo à penetração em profundidades e fatores (Fator 1, Fator 2, etc.) e comunalidade, entre as linhas de semeadura com duas passagens adicional (6 passagens) de trator agrícola, com rotação ortogonal, sob plantio direto.

Prof (cm)	6 passagens					Comunalidades
	Fator 1	Fator 2	Fator 3	Fator 4	Fator 5	
0-1	-0,079	-0,526	0,320	0,433	0,061	0,576
1-2	-0,103	0,014	0,134	0,863	0,410	0,942
2-3	0,012	0,205	0,089	0,925	0,242	0,966
3-4	0,079	0,316	0,036	0,902	0,085	0,927
4-5	0,061	0,487	-0,032	0,820	-0,061	0,918
5-6	0,161	0,621	0,046	0,574	-0,141	0,763
6-7	0,468	0,559	0,146	0,494	0,199	0,836
7-8	0,109	0,916	-0,139	0,195	0,135	0,927
8-9	-0,080	0,942	-0,044	0,106	0,090	0,915
9-10	0,002	0,881	0,290	0,221	0,124	0,924
10-11	0,028	0,740	0,588	0,138	0,034	0,914
11-12	0,185	0,543	0,679	0,109	0,137	0,821
12-13	0,205	0,319	0,831	0,265	0,078	0,911
13-14	0,308	0,100	0,916	0,077	0,085	0,956
14-15	0,351	-0,150	0,888	-0,022	0,073	0,941
15-16	0,441	-0,147	0,825	-0,014	0,131	0,913
16-17	0,555	-0,046	0,778	-0,001	0,158	0,940
17-18	0,568	0,035	0,727	0,084	0,220	0,909
18-19	0,530	0,052	0,744	0,254	0,158	0,926
19-20	0,316	-0,213	0,357	0,534	-0,492	0,800
20-21	0,554	-0,234	0,216	0,646	-0,278	0,902
21-22	0,672	-0,329	0,415	0,248	0,026	0,794
22-23	0,593	-0,329	0,326	0,043	0,260	0,636
23-24	0,755	-0,074	0,228	0,179	0,335	0,772
24-25	0,837	-0,056	0,141	0,255	0,207	0,832
25-26	0,907	-0,052	0,114	0,286	0,169	0,948
26-27	0,919	0,008	0,070	0,314	0,043	0,951
27-28	0,978	0,033	0,085	0,112	-0,011	0,977
28-29	0,820	0,167	0,272	0,298	0,310	0,959
29-30	0,040	0,253	0,566	0,375	0,614	0,903
30-31	0,818	0,104	0,472	-0,018	-0,113	0,915
31-32	0,905	0,087	0,324	-0,023	-0,150	0,955
32-33	0,946	0,075	0,221	-0,054	-0,104	0,964
33-34	0,902	0,083	0,315	-0,132	-0,092	0,945
34-35	0,893	0,043	0,263	-0,209	-0,188	0,948
35-36	0,745	0,114	0,532	-0,083	0,225	0,909
36-37	0,246	0,156	0,389	0,191	0,750	0,835
37-38	-0,071	0,174	0,351	0,299	0,785	0,864
38-39	0,761	0,117	0,295	-0,020	0,178	0,712
39-40	0,852	0,066	0,203	-0,181	-0,089	0,812
Autovalores	18,648	7,218	3,854	3,603	1,936	
Var. explicada	46,619	18,045	9,634	9,008	4,840	

Tabela 6. Coeficientes de correlação da resistência do solo à penetração em profundidades e fatores (Fator 1, Fator 2, etc.) e comunalidade, entre as linhas de semeadura com duas passagens adicional (8 passagens) de trator agrícola, com rotação ortogonal, sob plantio direto.

Prof (cm)	8 passagens					Comunalidades
	Fator 1	Fator 2	Fator 3	Fator 4	Fator 5	
0-1	-0,140	-0,080	-0,074	0,877	-0,101	0,811
1-2	-0,140	-0,110	-0,143	0,809	0,322	0,811
2-3	-0,051	0,230	-0,144	0,500	0,617	0,707
3-4	-0,024	0,651	-0,109	0,244	0,561	0,810
4-5	-0,021	0,924	0,103	-0,026	0,237	0,922
5-6	-0,007	0,954	0,054	-0,115	-0,020	0,926
6-7	0,105	0,963	0,194	-0,031	0,052	0,979
7-8	0,204	0,933	0,146	0,004	0,037	0,934
8-9	0,253	0,923	0,184	-0,012	-0,004	0,950
9-10	0,264	0,897	0,303	0,011	-0,041	0,967
10-11	0,266	0,809	0,478	0,054	-0,070	0,961
11-12	0,324	0,614	0,645	0,137	-0,109	0,929
12-13	0,288	0,253	0,869	0,150	-0,121	0,940
13-14	0,225	0,132	0,932	0,086	-0,127	0,960
14-15	0,188	0,114	0,954	0,027	-0,056	0,963
15-16	0,237	0,107	0,941	-0,031	-0,126	0,970
16-17	0,278	0,168	0,914	-0,159	0,032	0,966
17-18	0,414	0,312	0,780	-0,208	0,220	0,969
18-19	0,527	0,219	0,771	-0,160	0,149	0,968
19-20	0,633	0,223	0,674	-0,211	0,148	0,971
20-21	0,712	0,203	0,634	-0,152	0,110	0,985
21-22	0,787	0,209	0,503	-0,109	0,202	0,969
22-23	0,783	0,220	0,474	-0,093	0,266	0,966
23-24	0,809	0,213	0,414	-0,083	0,254	0,943
24-25	0,800	0,252	0,398	-0,010	0,247	0,923
25-26	0,817	0,277	0,376	0,029	0,225	0,937
26-27	0,878	0,224	0,340	0,066	0,170	0,970
27-28	0,905	0,222	0,301	0,084	0,082	0,972
28-29	0,847	0,325	0,280	0,227	-0,016	0,954
29-30	0,353	0,369	0,267	0,561	-0,042	0,649
30-31	0,848	0,168	0,283	0,204	-0,042	0,871
31-32	0,906	0,124	0,155	-0,164	0,169	0,916
32-33	0,926	0,043	0,147	-0,226	0,137	0,951
33-34	0,929	0,067	0,137	-0,227	0,028	0,939
34-35	0,930	0,050	0,147	-0,176	-0,048	0,923
35-36	0,922	-0,007	0,195	-0,083	-0,190	0,931
36-37	0,895	-0,008	0,173	-0,039	-0,296	0,919
37-38	0,898	0,050	0,142	0,080	-0,346	0,955
38-39	0,894	0,073	0,149	0,148	-0,350	0,972
39-40	0,914	0,050	0,184	0,102	-0,311	0,979
Autovalores	22,790	6,385	3,710	2,487	1,666	
Var. explicada	56,976	15,963	9,274	6,217	4,165	

O primeiro fator (Fator 1), que representa 49,48% da variância total, demonstra a existência de uma camada entre 26 e 35 cm (Tabela 7), que pode ser atribuído a transição de horizonte A e B própria de latossolos. O fator 2, com 15,96%, demonstra a formação de camada entre 3 e 9 cm mais compactada e, conforme o fator 3, com 11,68% de variância, a formação da camada entre 9 e 20 cm evidencia a influência do contato entre o sistema de abertura de sulco e o solo, tendo este último servido de apoio (WEIRICH NETO et al., 2006). Ressalta-se que este fato ocorreu também nos demais tratamentos, o que evidencia a forte influência do manejo agrícola empregado nos cultivos anteriores.

Pela análise de variância (teste F, $p < 0,05$) dos dados estratificados de RP, nas camadas de 0,00-0,10, 0,10-0,20, 0,20-0,30 e 0,30-0,40 m, se tem influência significativa das intensidades de tráfego nas camadas de 0,00-0,10, 0,20-0,30 e 0,30-0,40 m. Isso pode estar refletido na ocorrência da profundidade onde a RP foi máxima, conforme descrito na Tabela 1.

A RP aumentou linearmente com o número de passagens do trator (Figura 3). Conforme discutido em Souza et al. (2022), em uma resistência do solo de 2,0 MPa já pode começar a restrição ao desenvolvimento radicular, resultando em redução de produtividade da cultura. Neste caso, após 7 passagens do trator o solo passou a apresentar valores maiores que aquele considerado restritivo por Souza et al. (2022).

Tabela 7. Coeficientes de correlação da resistência do solo à penetração em profundidades e fatores (Fator 1, Fator 2, etc.) e comunalidade, entre as linhas de semeadura com doze passagens adicional (12 passagens) de trator agrícola, com rotação ortogonal, sob plantio direto.

12 passagens						
Prof (cm)	Fator 1	Fator 2	Fator 3	Fator 4	Fator 5	Comunalidades
0-1	0,134	-0,376	0,449	0,503	-0,190	0,650
1-2	0,121	-0,183	0,259	0,866	-0,074	0,871
2-3	0,098	0,387	-0,067	0,864	-0,027	0,911
3-4	0,071	0,771	-0,135	0,532	-0,092	0,910
4-5	0,168	0,889	-0,036	0,288	-0,219	0,950
5-6	0,032	0,931	-0,009	0,118	-0,082	0,889
6-7	-0,057	0,971	-0,073	-0,051	-0,057	0,957
7-8	0,166	0,870	-0,019	-0,190	-0,131	0,837
8-9	0,149	0,790	0,226	-0,470	0,043	0,920
9-10	0,286	0,483	0,645	-0,448	0,187	0,968
10-11	0,513	0,079	0,761	-0,251	0,137	0,930
11-12	0,354	-0,007	0,833	-0,235	0,310	0,970
12-13	0,243	-0,111	0,896	-0,172	0,272	0,978
13-14	0,214	-0,070	0,930	-0,081	0,198	0,962
14-15	0,155	0,091	0,946	0,007	0,188	0,963
15-16	0,132	0,088	0,922	0,111	0,185	0,922
16-17	0,107	-0,054	0,919	0,239	0,184	0,950
17-18	0,187	-0,066	0,879	0,262	0,180	0,913
18-19	0,247	-0,123	0,851	0,194	0,323	0,942
19-20	0,282	-0,138	0,629	0,099	0,605	0,869
20-21	0,187	-0,233	0,495	0,053	0,748	0,896
21-22	0,117	-0,282	0,321	-0,006	0,810	0,853
22-23	0,114	-0,291	0,234	-0,015	0,836	0,851
23-24	0,142	-0,194	0,212	-0,118	0,873	0,879
24-25	0,190	-0,202	0,123	-0,248	0,870	0,910
25-26	0,400	-0,150	0,081	-0,282	0,800	0,909
26-27	0,558	-0,128	0,040	-0,291	0,674	0,867
27-28	0,723	-0,090	0,079	-0,284	0,556	0,928
28-29	0,791	0,035	0,241	-0,156	0,479	0,938
29-30	0,865	0,118	0,308	-0,019	0,269	0,929
30-31	0,928	0,125	0,150	0,027	0,116	0,914
31-32	0,888	0,125	0,232	0,140	0,158	0,903
32-33	0,856	0,089	0,360	0,170	0,253	0,963
33-34	0,805	0,027	0,401	0,181	0,366	0,976
34-35	0,711	0,059	0,408	0,201	0,493	0,959
35-36	0,390	0,049	0,262	0,245	0,755	0,854
36-37	0,478	0,178	0,425	0,105	0,687	0,923
37-38	0,487	0,209	0,413	0,101	0,686	0,933
38-39	0,364	0,226	0,339	0,060	0,774	0,901
39-40	0,329	0,256	0,321	0,043	0,787	0,898
Autovalores	19,794	6,385	4,673	3,283	2,310	
Var. explicada	49,484	15,963	11,683	8,207	5,776	

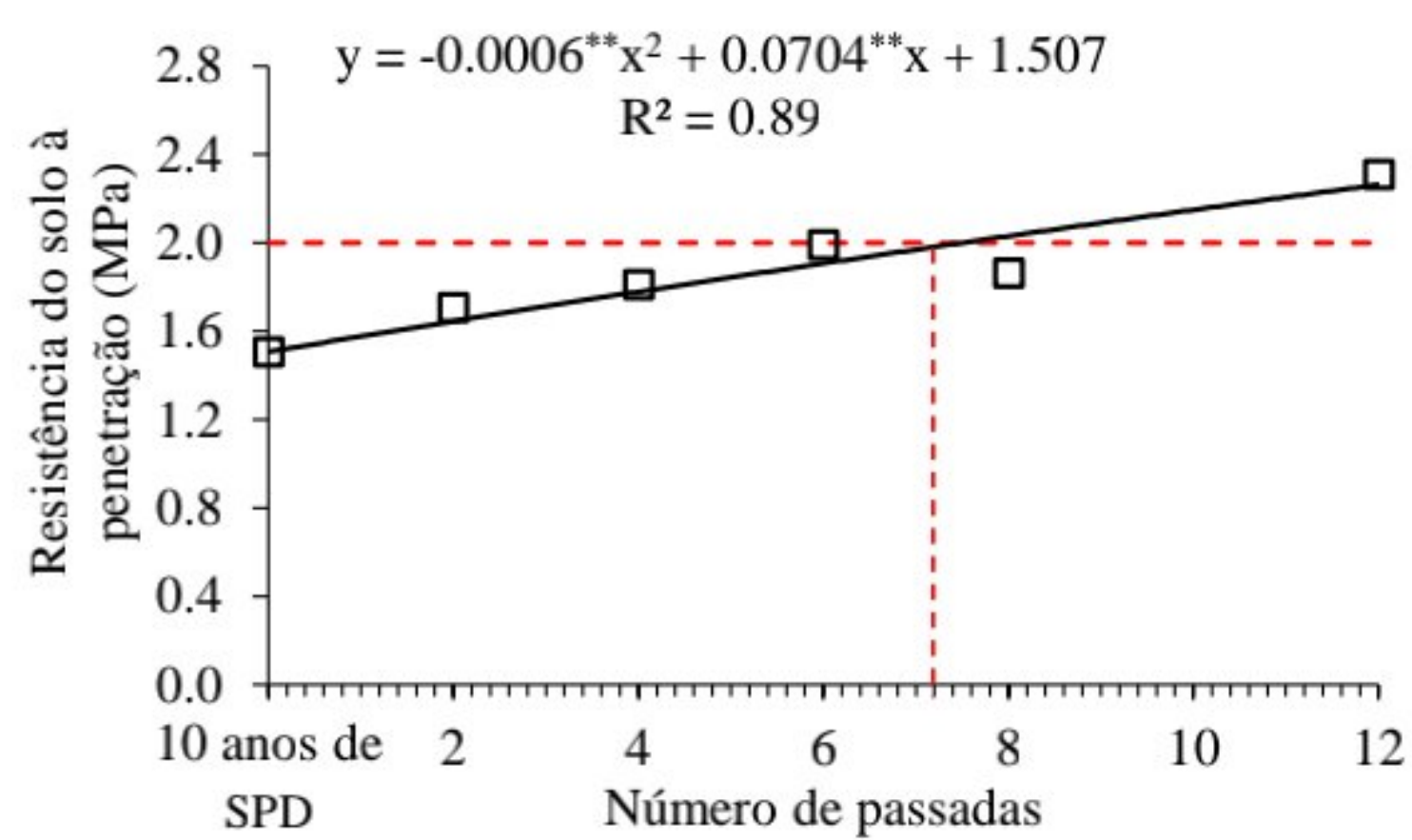


Figura 3. Resistência do solo à penetração, na camada de 0-10 cm em um Latossolo Vermelho distroférico sob plantio direto, com diferentes intensidades de tráfego de trator. $** (p \leq 0,01)$.

5 CONCLUSÕES

As análises de fatores aplicados ao estudo de solo com diferentes intensidades de tráfego de trator permitem identificar camadas de crescimento, de transição, de redução e de estabilização de resistência do solo à penetração em profundidade.

A resistência do solo à penetração aumentou linearmente com o aumento do número de passadas do trator, na camada de 0-10 cm de profundidade.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVARES CA, et al. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, Stuttgart, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>. Disponível em: https://www.schweizerbart.de/papers/metz/detail/22/82078/Koppen_s_climate_classification_map_for_Brazil. Acesso em: 15 jul. 2023.
- ARCOVERDE S. N. S., et al. Qualidade física de solos em uso agrícola na Região Semiárida do Estado da Bahia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** [online], v. 39, p. 1473-1482, 2015. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/G8zfjS68cDbYKMTKH7DrPHf/>. Acesso em: 24 jul 2023.
- ARCOVERDE, S. N. S. et al. Soybean agronomic performance and soil physical attributes under tractor traffic intensities. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 40, p. 113-120, 2020. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/eagri/a/kxGLsjPMN45Vd43BzrwYvCf/?format=pdf&lang=en>. Acesso em: 20 jun 2023.
- Asabe - American Society of Agricultural and Biological Engineers. **Soil cone penetrometer**. St. Joseph, p.903-904, 2006. Disponível em: <https://elibrary.asabe.org/abstract.asp?aid=44232>. |Acesso em: 15 jul 2023.
- BERGAMIN A. C., et al. Compactação de um latossolo vermelho distroférrico e suas relações com o crescimento radicular do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** [online], v. 34, p. 681-691. 2010. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/sgxJsJyxNqQjT6J7gQ8YHBb/?format=pdf>. Acesso em: 12 jun. 2023.
- BERTOLLO, A. M.; LEVIEN, R. Compactação do solo em sistema de plantio direto na palha. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha** [online], v. 25, n. 3, p. 208-218, 4 dez. 2019. Disponível em: <http://revistapag.agricultura.rs.gov.br/ojs/index.php/revistapag/article/view/113/88>. Acesso em: 13 jul 2023.
- CARDOSO, E. G., et al. Sistema radicular da soja em função da compactação do solo no sistema de plantio direto. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v. 41, n. 3, p. 493-501, mar. 2006. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/pab/a/6GMrH3T4MWy77r8ZMwNbFxJ/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 30 jun 2023.
- FIGUEIREDO FILHO, D. B.; SILVA JÚNIOR, J. A. Visão além do alcance: uma introdução à análise fatorial. **Opinião pública**, Campinas, v. 16, p. 160-185, 2010. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/op/a/bGsWsRVKbC55hFcxpYryjCL/>. Acesso em: 05 jul. 2023
- GIRARDELLO, V. C. et al. Resistência do solo à penetração e desenvolvimento radicular da soja sob sistema de plantio direto com tráfego controlado de máquinas agrícolas. **Revista Scientia Agraria**, Curitiba, v. 18, n. 2, p. 86-96, 2017. Disponível em: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6111915>. Acesso em: 07 jun. 2023.
- LOPES, A. P.; COSTA, M. J. S. Comparação entre métodos de aproximação numérica utilizando o programa matlab. **Margens**, [online], v. 11, n. 17, p. 245-274, dez. 2017. Disponível em:

https://repositorio.ufpa.br/bitstream/2011/12973/1/Artigo_ComparacaoMetodosAproximacao.pdf. Acesso em: 15 jul. 2023.

MAHL, D. **Desempenho de semeadoras-adubadoras de milho (*Zea mays* L.) em sistema de plantio direto**. 2002. xvi, 160 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, 2002. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/90546>.

MELLO, J. M. et al. Dinâmica dos atributos físico-químicos e variação sazonal dos estoques de carbono no solo em diferentes fitofisionomias do pantanal norte mato-grossense. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v. 39, n. 2, p. 325-336, 2015. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rarv/a/kRZgmtRjKPhV8W8Qr4zCpZG/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 1 jul. 2023

NASCIMENTO, L. S. et al. **Resistência do solo à penetração em diferentes sistemas de uso e manejo na região do Cerrado**. Campo Grande, MS: Embrapa Gado de Corte, 2020. 32 f. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1127937/1/DOC-285-Final-em-alta.pdf>. Acesso em: 20 maio 2020.

O'SULLIVAN, MF; HENSHALL, JK; DICKSON, JW Um método simplificado para estimar a compactação do solo. **Pesquisa de Solo e Cultivo**, v. 4, p. 325-335, janeiro. 1999. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0167198798001871>. Acesso em: 27 jun. 2023.

RAMOS, F. S. et al. Resistência a penetração e desenvolvimento do sistema radicular da soja (*Glycine max* L.) em função da compactação e uso de mecanismos rompedores do solo. In: **Congresso brasileiro de ciência do solo**, 35., 2015, Natal. O solo e suas múltiplas funções: anais. Natal: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2015. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1029785/1/CBCS2015.pdf>. Acesso em: 22 jun. 2023

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://www.redalyc.org/pdf/4457/445744077016.pdf>. Acesso em: 10 jun. 2023.

ROS, V. de V. **Análise de fatores da resistência à penetração de um Latossolo Vermelho Distroférrico em Plantio Direto**. 2007. 24f. Trabalho de Conclusão de Curso. (Graduação em Agronomia) - Universidade Federal da Grande Dourados.

SÁ, M. A. C. et al. **Compactação do solo: consequências para o crescimento vegetal. Planaltina**, DF: Embrapa Cerrados, 2005. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/569996/1/doc136.pdf>. Acesso em: 20 jul 2023.

SALVIANO A. M. et al. Soil chemical quality in agricultural land uses in the semiarid of Bahia. **Revista Agrarian**, Dourados, v. 11, n. 42, p. 328-336, 2018. Disponível em: <https://ojs.ufgd.edu.br/index.php/agrarian/article/view/7443/4697>. Acesso em: 10 jul. 2023

SANTOS H. G., et al. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed. Brasília: Embrapa, p. 187, 2018. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1094003/sistema-brasileiro-de-classificacao-de-solos>. Acesso em: 18 jul. 2018.

SECCO, D. et al. Atributos físicos e rendimento de grãos de trigo, soja e milho em dois Latossolos compactados e escarificados. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, n. 1, p. 58–64, jan. 2009. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cr/a/bpnYzMgKy5Vf5zQx4sG55sd/>. Acesso em: 20 jun. 2023.

SILVA, F. L. DA et al. Dimensões do Uso e Cobertura da Terra nas Mesorregiões do Estado do Pará. **Revista Espacios**, v. 37, n. 5, 27 fev. 2016. Disponível em: [https://www.revistaespacios.com/a16v37n05/16370505.html#:~:text=Neste%20contexto%2C%20as%20vari%C3%A1veis%20com,76%2C5%25\)%2C%20N%C3%A3o%20florestas](https://www.revistaespacios.com/a16v37n05/16370505.html#:~:text=Neste%20contexto%2C%20as%20vari%C3%A1veis%20com,76%2C5%25)%2C%20N%C3%A3o%20florestas). Acesso em: 01 jul. 2023.

SILVA, V. R. DA ; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.. Variabilidade espacial da resistência do solo à penetração em plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 2, p. 399–406, mar. 2004. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cr/a/4G9s9V5FyTtx6gYKsMk9Wkg/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 8 jun. 2023.

SOUZA, C. M. A. DE et al. Least limiting water range in Oxisol under two conservation tillage systems in sugarcane farming. **Rev. Ceres**, Viçosa, v. 69, n. 5, p. 586-593, sep/oct, 2022. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rceres/a/Jx7qdgNB7Z7pcwBWXrzG5hR/?format=pdf&lang=en>. Acesso em: 02 jul. 2023.

VALADÃO, F. C. DE A. et al. Adubação fosfatada e compactação do solo: sistema radicular da soja e do milho e atributos físicos do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [online], v. 39, n. 1, p. 243–255, jan. 2015. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/kWHDRGvCNk5TG7jdvHHn6Pc/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 15 jul. 2023.

VALENTE, G. F. et al. Resistência mecânica à penetração em sistemas de manejo do solo. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, Pombal, v. 14, n. 1, p. 140, 1 jan. 2019. Disponível em: <http://repositorio.ufra.edu.br/jspui/bitstream/123456789/911/1/RESIST%C3%AANCIA%20MEC%C3%82NICA.pdf>. Acesso em: 12 jul. 2023.

WEIRICH NETO, P. H. et al. Análise multivariada da resistência do solo à penetração sob plantio direto. **Ciência Rural** [online], Santa Maria, v. 36, n. 4, p. 1186-1192, jul-ago, 2006. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cr/a/Q6VGf9xmXjVxDfBTLwPCGcg/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 10 jun. 2023.