

**UNIVERSIDADE EVANGÉLICA DE GOIÁS – UniEVANGÉLICA**  
**CURSO DE AGRONOMIA**

**AVALIAÇÃO DA COMPACTAÇÃO DO SOLO NA ÁREA  
EXPERIMENTAL DA UNIEVANGÉLICA**

**Paula Marieli Marafon**

**ANÁPOLIS-GO  
2025**

**PAULA MARIELI MARAFON**

**AVALIAÇÃO DA COMPACTAÇÃO DO SOLO NA ÁREA  
EXPERIMENTAL DA UNIEVANGÉLICA**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à Universidade Evangélica de Goiás - UniEVANGÉLICA, para obtenção do título de Bacharel em Agronomia.

**Área de concentração:** Física do solo

**Orientador:** Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Claudia Fabiana Alves Rezende

**ANÁPOLIS-GO  
2025**

**Marafon, Paula Marieli**

Avaliação da compactação do solo na área experimental da UniEvangélica / Paula Marieli Marafon. – Anápolis: Universidade Evangélica de Goiás – UniEVANGÉLICA, 2025.  
28 páginas.

Orientador: Prof<sup>a</sup>. Dra. Claudia Fabiana Alves Rezende

Trabalho de Conclusão de Curso – Curso de Agronomia – Universidade Evangélica de Goiás – UniEVANGÉLICA, 2025.

1. Densidade do solo. 2. Manejo conservacionista. 3. Degradação do solo I. Paula Marieli Marafon. II. Avaliação da compactação do solo na área experimental da UniEvangélica.

CDU 504

**PAULA MARIELI MARAFON**

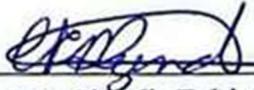
**AVALIAÇÃO DA COMPACTAÇÃO DO SOLO NA ÁREA  
EXPERIMENTAL DA UNIEVANGÉLICA**

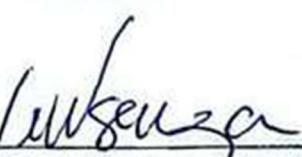
Monografia apresentada à Universidade Evangélica de Goiás – UniEVANGÉLICA, para obtenção do título de Bacharel em Agronomia.

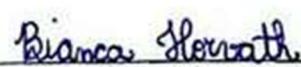
**Área de concentração:** Física do solo

Aprovada em: \_\_\_\_\_

**Banca examinadora**

  
\_\_\_\_\_  
**Prof. Dr. Cláudia Fabiana Alves Rezende**  
UniEvangélica  
Presidente

  
\_\_\_\_\_  
**Prof. Dr. João Maurício Fernandes Souza**  
UniEvangélica

  
\_\_\_\_\_  
**Prof. Dr. Bianca de Oliveira Horvath Pereira**  
UniEvangélica

Dedico esse trabalho a todos que me apoiaram  
durante essa etapa da minha vida.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus por me proporcionar sabedoria e saúde para trilhar essa jornada, me dando forças para continuar me esforçando e seguir em frente perante as dificuldades.

Aos meus pais Paulo Luiz Marafon e Marilia Lenir Marafon, que me auxiliaram durante toda a trajetória de graduação, que mesmo perante as dificuldades sempre fizeram o possível para me ajudar, e sempre estiveram me incentivando para que eu conseguisse alcançar meus objetivos.

Ao meu irmão Ronaldo Marafon, que sempre me apoiou incondicionalmente e me ajudou sempre que necessário durante o período da graduação.

Aos meus familiares que sempre me demonstraram muito apoio me incentivando e ajudando desde o início da graduação.

Aos meus amigos e colegas, tanto os antigos quanto os novos obtidos nessa jornada da graduação que me apoiaram durante esse período cada um a sua maneira, proporcionando vários momentos divertidos nessa jornada.

A minha orientadora Dr<sup>a</sup>. Claudia Fabiana Alves Rezende, que me orientou brilhantemente, estando sempre disponível para me instruir com o trabalho fornecendo ótimas orientações e conselhos.

A instituição de ensino Universidade Evangélica de Goiás - UniEvangélica e a direção e coordenação do curso de Agronomia, que junto ao competente corpo docente contribuíram para a minha formação acadêmica, profissional e como pessoa.

“A persistência é o menor caminho do êxito”.

Charles Chaplin.

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>8</b>
<b>2. REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>10</b>
2.1.    O SOLO.....	10
2.2.    SISTEMAS DE MANEJO .....	11
2.3.    RESISTÊNCIA A PENETRAÇÃO .....	12
2.4    COMPACTAÇÃO DO SOLO .....	13
2.5    INTERVALO HÍDRICO ÓTIMO .....	14
<b>3. MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>16</b>
<b>5. CONCLUSÃO.....</b>	<b>26</b>
<b>6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>27</b>

## RESUMO

A avaliação da compactação do solo se faz uma prática extremamente necessária no meio agrícola dado a importância que um solo compactado pode impactar negativamente na produtividade. Diante do tema abordado o presente trabalho tem como objetivo avaliar a compactação do solo em diferentes sistemas de manejo na fazenda escola da UniEvangélica na camada agricultável. O estudo foi realizado no mês de setembro de 2025, em áreas da fazenda escola da UniEvangélica, para garantir que o solo estivesse em capacidade de campo no momento da coleta de dados. Foram analisadas seis áreas realizando amostragens de 0,0-0,45 m: Área 01 em sistema de plantio convencional e plantio de olerícolas; Área 02 sem revolvimento a 7 anos, com auto tráfego de maquinário; Área 03 e 3 anos de plantio direto; Área 04 em sistema de plantio direto (6 anos) com baixa circulação de maquinário; Área 05 em sistema de plantio direto (8 anos) de baixo tráfego de maquinário e Área 06 em revolvimento anual e plantio de grandes culturas. O experimento foi conduzido antes do plantio da safra 2025/2026, sendo coletadas amostras em três pontos em cada área de forma totalmente casualizada, utilizando-se o valor médio para avaliação dos dados. A resistência do solo à penetração (RSP) foi avaliada por meio de um penetrômetro de impacto, modelo IAA/ Planalsucar- Stolf convertendo a profundidade obtida no campo em resistência a penetração pelo uso das fórmulas de Stolf, que fornece a resistência a penetração em  $\text{k}\text{gf cm}^{-2}$ , e posteriormente multiplicado pelo valor de 0,0981 para se conseguir o valor em Mpa. Os resultados obtidos foram dispostos em gráficos gerados no software Excel para avaliação. As áreas 1 e 6 em plantio convencional apresentaram menor Rp superficial nas camadas 0,00-0,15m enquanto que ocorre o aumento gradativo a partir dos 0,20m. As áreas avaliadas apresentam diferentes resistências a penetração de acordo com a profundidade avaliada e o sistema de manejo empregado. As áreas de plantio direto apresentaram Rp no terço superficial do solo classificado como alta com exceção da área 4.

**Palavras-chave:** Densidade do solo; Manejo conservacionista; Degradação do solo.

## **1. INTRODUÇÃO**

A alta demanda por alimentos gerado pelo crescimento populacional no mundo, exige cada vez mais melhores resultados na produtividade das lavouras cultivadas sendo empregado muitas vezes uma intensificação nas áreas de cultivos, como resultado os solos cultivados sofrem uma enorme pressão podendo levar degradação das condições físicas do solo quando o manejo não ocorre de forma adequada. O solo é um recurso natural de fundamental importância para a produção de alimentos e matérias-primas. Por ser um sistema trifásico (sólido, líquido e gasoso) e dinâmico, é essencial que suas características químicas, físicas e biológicas sejam preservadas. Para isto, se faz necessário o uso de técnicas de manejo conservacionistas, que incrementem na qualidade do sistema (BERTOLLO; LEVIEN, 2019).

Chaves et al. (2012) associa a degradação do solo no setor agrícola ao manejo inadequado dos recursos naturais, sendo as causas que mais contribuem para esta degradação o monocultivo, queimadas da cobertura florestal e vegetação nativa, práticas de manejo que não proporcionam a proteção adequada ao solo e degradam a estrutura (aração e gradagem). O excesso de tráfego de máquinas e o manejo de animais acima da capacidade de suporte de carga nas áreas de pastagens. A mecanização agrícola, devido ao intenso tráfego de tratores e implementos na lavoura resulta na compactação do solo, que é uma diminuição do seu volume não saturado decorrente de uma compressão que causa a expulsão do ar do solo, fazendo o rearranjo das partículas e, como consequência, um aumento da densidade (EMBRAPA, 2003).

Os diferentes sistemas de manejo do solo têm a finalidade de criar condições favoráveis ao crescimento e desenvolvimento das culturas. Todavia, o desrespeito às condições mais favoráveis (solo úmido ou consistência friável) para o preparo do solo e o uso de máquinas cada vez maiores e pesadas para essas operações podem levar a modificações da sua estrutura, causando-lhe compactação, interferindo na densidade do solo, na porosidade, na infiltração de água e no crescimento radicular das culturas, e, consequentemente, na redução da produtividade (MARIA et al., 1999).

No plantio convencional pode-se constatar a camada compactada na profundidade imediatamente abaixo da profundidade de operação do implemento podendo resultar numa camada superficial (0,0-0,18 m) de solo bem solto. Logo abaixo uma camada subsuperficial (0,18-0,23 m) compactada, que impede o enraizamento em profundidade e a percolação de água, que é o movimento descendente desta no perfil do solo (EMBRAPA, 2003).

O sistema de plantio direto não há preparo primário nem secundário do solo, ou seja, não há revolvimento do solo pela aração ou gradagem, há registros de compactação do solo na camada superficial resultante do trânsito de máquinas nas operações de semeadura, tratos fitossanitários e colheita (EMBRAPA, 2003). No plantio direto, a camada de maior impedimento ao crescimento radicular está localizada entre 0,08 e 0,15 m formando o “pé-de-plantio direto”. A compactação subsuperficial no preparo convencional como a compactação superficial no plantio direto são prejudiciais (SILVA, 2003).

A avaliação da compactação do solo se faz uma prática extremamente necessária no meio agrícola dado a importância que um solo compactado pode impactar negativamente na produtividade, para isso algumas metodologias de avaliação são utilizadas como a densidade solo (Ds) e teste de resistência à penetração (RP) que considerados atributos físicos, e são utilizadas como indicador de compactação do solo possuindo forte influência no crescimento das raízes. Cruz (2021) ao avaliar a compactação do solo e resistência à penetração em diferentes usos dos solos, constatou que os sistemas apresentaram diferentes valores de resistência à penetração com a profundidade, observando maior resistência à penetração nas camadas de 0,0-0,30 m, nessa profundidade a área apresentou maior compactação.

Cividini et al. (2025) em seu trabalho constatou que a utilização dos sensores Arduino acoplados ao penetrômetro de impacto possibilita uma obtenção mais ágil e confiável de dados sobre a umidade nos perfis de solo das propriedades rurais, facilitando a interpretação das informações de RP e promovendo uma gestão mais racional do solo para a bovinocultura leiteira na região. Mostrando que uma tecnologia de monitoramento contínuo da RP e a avaliação de práticas de manejo do solo que possam mitigar a compactação nos solos das propriedades rurais.

Diante da importância do tema abordado o presente trabalho tem como objetivo avaliar a compactação do solo em diferentes sistemas de manejo na fazenda escola da UniEvangélica na camada agricultável.

## **2. REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1. O SOLO**

O solo foi classificado segundo a Embrapa (2018), como uma coleção de corpos naturais, constituídos por partes sólidas, líquidas e gasosas, tridimensionais, dinâmicos, formados por materiais minerais e orgânicos que ocupam a maior parte do manto superficial das extensões continentais do nosso planeta, contem matéria viva e podem ser vegetados na natureza onde ocorrem e, eventualmente, terem sido modificados por interferências antrópicas.

A funcionalidade de um solo é determinada pela relação existente entre seus atributos físicos, químicos e biológicos. Os principais atributos físicos relacionados com as funções do solo são: granulometria (distribuição das partículas sólidas por classes de tamanho e frequência: areia, silte e argila), densidade do solo, porosidade, resistência à penetração de raízes, velocidade de infiltração da água e estabilidade de agregados (XAVIER, 2021).

Os impactos do uso e manejo na qualidade física do solo têm sido quantificados utilizando-se diferentes propriedades físicas, como resistência à penetração das raízes, densidade do solo, estrutura, porosidade total, tamanho e continuidade dos poros, infiltração de água e desenvolvimento do sistema radicular. As modificações nestas propriedades, ocasionadas pelo manejo inadequado, resultam em decréscimo de produção e aumento da suscetibilidade do solo a erosão (CALONEGO, 2007).

Islan; Weil (2000) consideram-se três grupos de atributos na avaliação da qualidade do solo, tendo como o primeiro grupo os atributos denominados efêmeros, que são aqueles que apresentam oscilações em curto intervalo de tempo, podendo destacar: a temperatura, o pH, o conteúdo de água, a respiração do solo, assim como os teores de nutrientes. Para o segundo grupo pode-se englobar os atributos os quais são denominados de intermediários, ou seja, aqueles que são alterados com o manejo após alguns anos, dentre estes incluem-se conteúdo de matéria orgânica (MO), resistência do solo à penetração (RP) e a permeabilidade do solo à água.

Para o último, observa-se os atributos definidos como permanentes, aqueles considerados inerentes ao solo, os quais não sofrem alterações a curto prazo, por exemplo, dentre estes podem ser citados os componentes mineralógicos, a textura do solo, profundidade do mesmo, as camadas de impedimentos e o pedoclima (ISLAN; WEIL, 2000).

Agregados do solo é definido por Kemper; Rosenau (1986) como um conjunto de partículas primárias (argila, silte, areia) do solo que se aderemumas às outras mais fortemente do que a outras partículas circunvizinhas. A influência da matéria orgânica na agregação do

solo ocorre à medida que se adiciona material orgânico ao solo, intensificando a atividade microbiana, resultando na produção de exsudados que desempenham função na formação e na estabilização (agentes cimentantes) dos agregados (ASSIS; LANÇAS, 2010).

Solos contendo principalmente óxidos e hidróxidos de alumínio e ferro, e caulinita, por exemplo Latossolos, comumente encontrados no Brasil, formam uma microestrutura típica que apresenta alta estabilidade devido à força de adesão entre as partículas. Os óxidos e hidróxidos de alumínio e ferro que em baixo pH tem carga superficial positiva conjuntam com as partículas de caulinita que possuem carga superficial negativa. O tamanho destes conjuntos de partículas geralmente está na faixa de tamanho de areia (“areia falsa”), e o solo que tem estas estruturas em muitos aspectos se comporta similarmente a um solo arenoso, por exemplo tem excelente capacidade para drenagem de água, apesar de muitas vezes ser muito argiloso (MADARI, 2004).

No preparo convencional, a ruptura dos agregados ocasionada pelo revolvimento do solo contribui para um maior ataque dos organismos, acelerando as perdas de C orgânico pela oxidação da matéria orgânica e pelos processos de erosão (MENDONÇA; ROWELL, 1994). Os efeitos do plantio direto na agregação do solo, pela eliminação das operações de preparo, resultam menor quebra mecânica dos agregados e a manutenção de cobertura por resíduos vegetais, protegendo do impacto direto das gotas de chuva, condições bem diferentes das encontradas no sistema convencional (BERTONI; LOMBARDI NETO, 1990).

Ao avaliar a melhoria da agregação do solo através do plantio direto Calegari et al. (2006) concluiu que o sistema de plantio direto recupera o teor de carbono orgânico do solo e, quando complementado com sistema de rotação de culturas e plantas de cobertura, antecipa esta recuperação, promovendo melhoria do estado de agregação, enquanto que o sistema convencional contribuiu para diminuição dos teores de carbono orgânico do solo, menores valores de IEA, DMP e DMG, além de uma menor % de agregados > 2,00 mm.

## 2.2. SISTEMAS DE MANEJO

O manejo do solo consiste em várias práticas de cultivo cujo objetivo é evitar que haja degradação das características químicas, físicas e biológicas do solo e, assim, permitir que a exploração seja duradoura e sustentável (MELO, 2021). O conhecimento dos danos provocados pelos diferentes sistemas de manejo é essencial para melhorar as qualidades físicas e químicas do solo, isso porque o uso inadequado do solo como o revolvimento excessivo ou o uso de

práticas pouco conservacionistas, podem provocar aumento da densidade, diminuição da macroporosidade e porosidade total dentre outros danos (SOARES et al., 2016).

A introdução do sistema de plantio direto, no qual a semeadura é realizada em terreno coberto por palha, e, portanto, sem revolvimento da camada superficial do solo, deverá minimizar a formação de camadas compactadas no solo. Apesar disso, a utilização continuada do plantio direto pode resultar em aumento da densidade do solo (GOETERD et al., 2002).

Alves; Suzuki (2004) ao avaliar a influência de diferentes sistemas de manejo do solo na recuperação de suas propriedades físicas, constatou que para a profundidade de 0,0-0,10 m nota-se uma maior resistência à penetração para a área de plantio direto. Fato este explicado pelo não revolvimento do solo e pelo tráfego de máquinas na área.

Em solos onde o sistema de produção é conduzido em Sistema Plantio Direto (SPD), ou seja, com adequados modelos de rotação e consociação de culturas, forma-se sobre a superfície do terreno espessa camada de resíduos de plantas e, no interior do solo, desenvolve-se emaranhado de raízes que se associa à fauna bastante diversificada. Tal situação proporciona uma série de melhorias às condições físicas do solo (HERNANI, 2021).

A prática de manter os resíduos culturais na superfície do solo, sem incorporação, traz benefícios para o ambiente. Para as propriedades físicas, contribui na proteção da estrutura do solo ao impedir a ação direta das gotas de chuva sobre a superfície e auxiliar na regulação térmica (FURLANI et al., 2008).

O sistema de preparo convencional do solo ocasiona compactação subsuperficial em virtude da mobilização e descompactação mecânica da camada mobilizada, ao mesmo tempo em que a carga aplicada apresenta efeito acumulativo em subsuperfície ao longo dos anos (HAKANSSON et al., 1988). No plantio convencional, nas camadas 0,0-0,10 m o preparo do solo favorece uma menor resistência à penetração, pelo fato de o solo estar revolvido nessa profundidade, porém, observa-se maior resistência à penetração na profundidade de 0,10-0,20 m e 0,20-0,40m em relação ao plantio direto, devido ao “pé-de-grade” no plantio convencional, causado pelo trabalho do implemento de preparo do solo a uma mesma profundidade e a uma umidade inadequada (ALVES; SUZUKI,2004).

### 2.3. RESISTÊNCIA A PENETRAÇÃO

A densidade do solo é a relação entre o peso seco e o volume total (volume de sólidos mais volume de poros) de uma massa de solo. Pode-se dizer, com certo cuidado, que é a medida

quantitativa mais direta da compactação (MACHADO et al., 2003). É a propriedade física mais avaliada pois fornece indicações a respeito do estado de compactação do solo, podendo indicar a necessidade de realização de prática mecânica de descompactação do solo com a utilização do subsolador ou do escarificador (REICHARDT; TIMM, 2008).

A determinação da densidade do solo envolve duas etapas, sendo a obtenção da massa da amostra por pesagem e a determinação de seu volume. O volume pode ser obtido por meio da coleta de amostra com cilindro de volume conhecido ou por meio da medição do volume de um fragmento (torrão ou monolito), adequadamente amostrado com sua estrutura preservada e a massa da amostra é obtida por meio de sua pesagem após secagem em estufa (EMBRAPA, 2017).

A resistência do solo à penetração representa juntamente com a densidade e a umidade, atributos físicos do solo, e em conjunto correspondem as condições necessárias para o bom crescimento das raízes, sendo o valor de 2MPa aceito como impeditivo ao crescimento radical (TORMENA et al., 1998; TORMENA et. al., 2002). Esse fator é apontado como um dos mais limitantes ao desenvolvimento e estabelecimento das culturas, pois ela expressa o grau de compactação do solo; varia com o tipo de solo e com a espécie cultivada, sendo que suas causas têm sido atribuídas ao tráfego de máquinas agrícolas. Esta medida é oriunda de um método secundário na avaliação da compactação do solo e tem sido utilizada para relacionar a resistência com o crescimento radical (RICHART et al., 2005).

Os penetrômetros indicam apenas se uma camada compactada existe ou não, mas não oferece nenhuma indicação sobre a magnitude de penetração das raízes na camada compactada, havendo assim, necessidade de se cavar uma trincheira para observar o enraizamento em profundidade (MACHADO et al., 2003). Modelos matemáticos que representam a dependência da resistência do solo à penetração e seu conteúdo de água contribuem para o entendimento da relação entre essas duas variáveis, favorecendo a compreensão das propriedades mecânicas do solo que “governam” a compactação (ALMEIDA et. al., 2008).

## 2.4 COMPACTAÇÃO DO SOLO

O termo compactação do solo refere-se ao processo que descreve o decréscimo de volume de solos não saturados quando uma determinada pressão externa é aplicada, a qual pode ser causada pelo tráfego de máquinas agrícolas, equipamentos de transporte ou animais (LIMA, 2004). A extensão e a intensidade da compactação do solo vão depender da pressão exercida

pelos pontos de apoio das máquinas e equipamentos, das suas cargas, do número de vezes que trafegam no terreno, da textura e da agregação do solo (RICHART, 2005).

A compactação tem efeito negativo, tanto nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, quanto no meio ambiente e no crescimento e desenvolvimento das culturas, mas um solo sem estrutura também não é favorável às características supracitadas. Um nível de compactação intermediário é desejável, tanto para a qualidade do solo e ambiente quanto para as plantas (REICHERT, 2007). Stone et al. (2002) ao avaliar compactação do solo na cultura do feijoeiro verificou o efeito da compactação na redução do tamanho dos poros que efetivamente transportam água, explicando a redução da condutividade hidráulica com o aumento da densidade do solo.

Solos compactados inibem o desenvolvimento do sistema radicular pois inibem a absorção de água e de nutrientes que são necessários no desenvolvimento da parte aérea e radicular da planta. Ao avaliar o desenvolvimento da cultura do milho sob efeitos de diferentes profundidades de compactação do solo Labegalini et al., (2016) observaram uma relação funcional significativa entre todas as variáveis, exceto para massa verde de raízes sem compactação, considerando que o aumento da compactação resultou em menor desenvolvimento das plantas, indicando o efeito negativo da compactação do solo no crescimento das plantas.

## 2.5 INTERVALO HÍDRICO ÓTIMO

O intervalo hídrico ótimo (IHO) é um método que integra vários fatores que afetam o desenvolvimento das plantas, e corresponde ao intervalo de umidade do solo no qual não ocorre restrição de aeração nem de resistência mecânica à penetração das raízes dentro da faixa de água disponível às plantas (KLEIN; CAMARA, 2007). A faixa de conteúdo de água que representa o IHO é definida por um limite superior, que pode ser o conteúdo de água na capacidade de campo (CC) ou o conteúdo de água no qual a porosidade de aeração crítica é de 10%, e por um limite inferior, equivalente ao conteúdo de água no ponto de murcha permanente (PMP) ou o conteúdo de água no qual a resistência mecânica do solo à penetração (RP) atinge um valor crítico de 2 MPa (MORAES et al., 2015).

Uma importante ferramenta para obtenção de dados que determinam o IHO consiste nas funções de Pedotransferência, que são funções preditivas de certas propriedades dos solos a partir de outras facilmente medidas e rotineiramente obtidas a custos mais baixos, esse conceito

foi criado por Bouma (1989) e permitem que informações básicas de solo, disponíveis em relatórios de levantamentos de solos ou em Sistemas de Informação Geográfica (SIGs), sejam transformadas em outras, de obtenção mais laboriosa e mais cara (BUDIMAN et. al., 2003).

As limitações inerentes aos métodos convencionais se devem à elevada ocupação de espaço físico nos laboratórios, à forte dependência da habilidade da pessoa responsável por operar os equipamentos e ao elevado tempo necessário para determinação da curva de retenção (SOARES, 2013). Diante deste cenário, surge um crescente interesse pelo estabelecimento de métodos indiretos como as FPT para estimar a CC, PMP e AD (RAMOS, 2018).

### **3. MATERIAL E MÉTODOS**

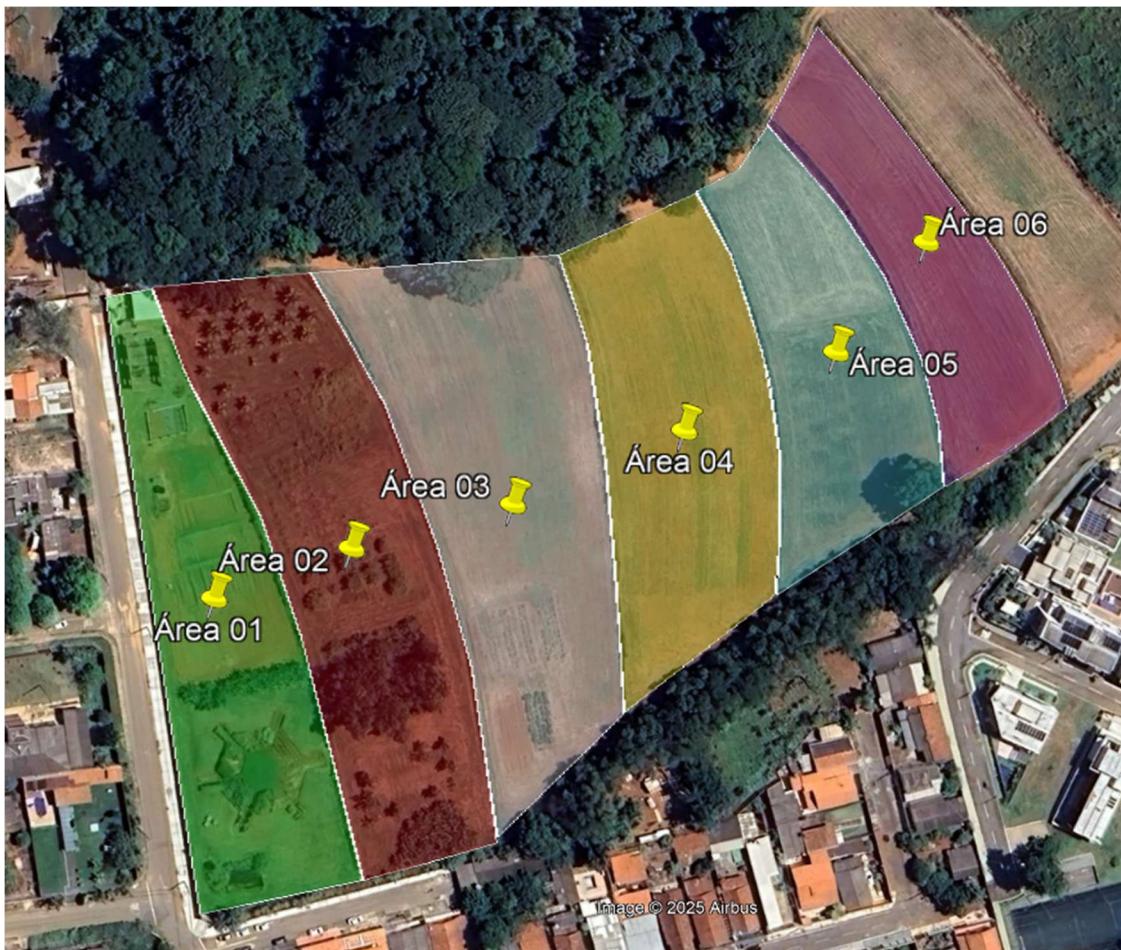
O estudo foi realizado no mês de setembro de 2025, em áreas da fazenda escola da UniEvangélica, para garantir que o solo estivesse em capacidade de campo no momento da coleta de dados, foram coletadas amostras em 6 áreas situadas no município de Anápolis – Goiás ( $16^{\circ} 19' 37''$  S,  $48^{\circ} 57' 10''$ W), Estado de Goiás.

O clima da região é tropical úmido, com volume de chuva média de 1.465,50 mm anual, sendo os meses de dezembro e janeiro os com maiores volumes de chuva e o mês de julho o mais seco do ano. A temperatura pode variar de 8 a 33 °C, mas com média de 23°C. O solo que se faz mais presente na região é o Latossolo Vermelho, que é um solo formado por material mineral, tendo horizonte B latossólico logo abaixo de qualquer forma de horizonte A, numa profundidade de 2,0 m da superfície do solo (SANTOS et al., 2018).

Foram analisadas seis áreas realizando amostragens de 0,0-0,45 m (Tabela 1; Figura 1): Área 01 – com uma área de 0,61 ha em sistema de plantio convencional e plantio de olerícolas ; Área 02 – com uma área de 0,792 ha sem revolvimento a 7 anos, com auto tráfego de maquinário; Área 03 – com uma área de 0,806 ha e 3 anos de plantio direto; Área 04 – com uma área de 0,612 ha em sistema de plantio direto (6 anos) com baixa circulação de maquinário; Área 05 – com uma área de 0,49 ha e sistema de plantio direto (8 anos) de baixo tráfego de maquinário e Área 06 – com uma área de 0,423 ha e revolvimento anual e plantio de grandes culturas. O experimento foi conduzido antes do plantio da safra 2025/2026, as amostras foram coletadas em três pontos em cada área de forma totalmente casualizada, sendo utilizado o valor médio para avaliação dos dados.

**TABELA 1** - Localização geográfica das áreas estudadas para avaliação de compactação do solo na Fazenda Escola da UniEvangélica, no município de Anápolis-GO, 2025

<u>Propriedades</u>	<u>Localização Geográfica</u>
Faz. escola da UniEvangélica – Área 01	$16^{\circ}17'43.82''$ S - $48^{\circ}56'19.37''$ O
Faz. escola da UniEvangélica – Área 02	$16^{\circ}17'43.35''$ S - $48^{\circ}56'18.06''$ O
Faz. escola da UniEvangélica – Área 03	$16^{\circ}17'42.94''$ S - $48^{\circ}56'16.51''$ O
Faz. escola da UniEvangélica – Área 04	$16^{\circ}17'42.24''$ S - $48^{\circ}56'14.85''$ O
Faz. escola da UniEvangélica – Área 05	$16^{\circ}17'41.49''$ S - $48^{\circ}56'13.37''$ O
Faz. escola da UniEvangélica – Área 06	$16^{\circ}17'40.43''$ S - $48^{\circ}56'12.48''$ O



Fonte: Google Earth, 2025.

**FIGURA 1** – Mapa das áreas avaliadas na fazenda escola da UniEvangélica, cidade de Anápolis - GO, 2025.

Contrariando a recomendação de trabalhos mais antigos (HENDERSON, 1989; ARSHAD et al., 1996), não é recomendável a determinação da resistência a penetração quando o solo se encontra na capacidade de campo ou próximo dela, pois a água diminui a capacidade de detecção das diferenças existentes nos resultados obtidos. A razão é que os equipamentos mais antigos eram, na grande maioria, manuais e dependiam da força do operador, não possibilitando, dessa forma, a obtenção de dados em solos com baixo teor de água.

Para comprovar essa recomendação, Guerra et al. (2000), constataram a influência do teor de água na determinação do índice de cone, ou seja, a RP numa determinada profundidade, em que a presença da água inibiu a diferenciação da compactação pelo efeito lubrificante que provoca no solo, deixando-o muito plástico e facilitando a penetração da haste, indicando que, para melhor sensibilidade dos efeitos da carga, devem-se tomar os dados de RP com o solo com baixo teor de água, mas com presença de umidade. Dessa forma a coleta foi realizada

posteriormente as primeiras chuvas de setembro, sendo respeitada a drenagem do solo visando atingir o ponto de friabilidade para melhor precisão na coleta dos dados.

Segundo Vereecken et al. (2010), no desenvolvimento de FPT para a estimativa da disponibilidade de água, dados de granulometria constituem a principal variável de entrada utilizada nessas equações. Dessa forma a estimativa de umidade do solo foi realizada de forma indireta utilizando-se a equação 3 (Tabela 2) de pedotransferência proposta por Andrade; Stone (2011), no qual utiliza-se o valor da argila como variável para determinar a capacidade de campo (CC). Não foi realizada análise de solo e densidade nas áreas, utilizando-se dessa forma o histórico dos valores médios de argila das áreas que variam de 35% a 40% determinando assim a CC nesse intervalo.

A resistência do solo à penetração (RSP) foi avaliada por meio de um penetrômetro de impacto (Figura 2), modelo IAA/ Planalsucar- Stolf (Stolf et al., 1983), a profundidade que cada impacto atinge é medida com o penetrômetro, e em seguida é preciso converter a profundidade obtida no campo em resistência à penetração pelo uso das fórmulas de Stolf (1983), que fornece a resistência à penetração em  $\text{kgf cm}^{-2}$ . Foi realizado a multiplicação dos valores de Resistência à Penetração em  $\text{kgf cm}^{-2}$  pelo valor de 0,0981 para se conseguir o valor em MPa (BEUTLER et al., 2007). Para reduzir os erros devidos à diferença na umidade do solo, a avaliação foi feita em seis áreas de plantio que receberam lâminas de precipitação semelhantes.



**FIGURA 2** – Coleta de dados com penetrômetro de impacto na Fazenda Escola da UniEvangélica, na cidade de Anápolis - GO, 2025.

**TABELA 2** – Equações de pedotransferência para estimativa da capacidade de campo com base em análise textural dos solos

Equações	Autor
$Ucc = 0,031 + [0,00629(Ag + Silt) - 0,0000348(Ag - Silt)^2]$	(1) Arruda et al. (1987)
$Ucc = 0,0005Ag - 0,0045Ar + 0,0018MO + 0,4939$	(2) Macedo (1991)
$Ucc = 0,0023Ag + 0,2192$	(3) Andrade; Stone (2011)
$Ucc = 0,0019Ag + 0,0024Silt + 0,2143$	(4) Andrade; Stone (2011)
$Ucc = 0,0020Ag + 0,0145MO + 0,2025$	(5) Andrade; Stone (2011)
$Ucc = 0,0018Ag + 0,0019Silt + 0,0111MO + 0,2026$	(6) Andrade; Stone (2011)
$Ucc = 0,0026Ag + 0,0025Silt + 0,0011Ar + 0,0108MO + 0,1253$	(7) Andrade; Stone (2011)

\*Ucc: Umidade em base massa, \*Ag: Argila, \*Silt: Silte, \*Ar: Areia, \*MO: Matéria orgânica.

Para a interpretação dos dados de penetrometria foram empregados os critérios descritos por Soil Survey Staff citado por Arshad et al. (1996) (Tabela 3), os quais adotam classes de resistência mecânica do solo à penetração. Áreas que apresentavam resistência à penetração superior a 2,0 MPa, foram consideradas restritivas ao crescimento radicular, desde a camada superficial, o que permite caracterizar o solo como compactado.

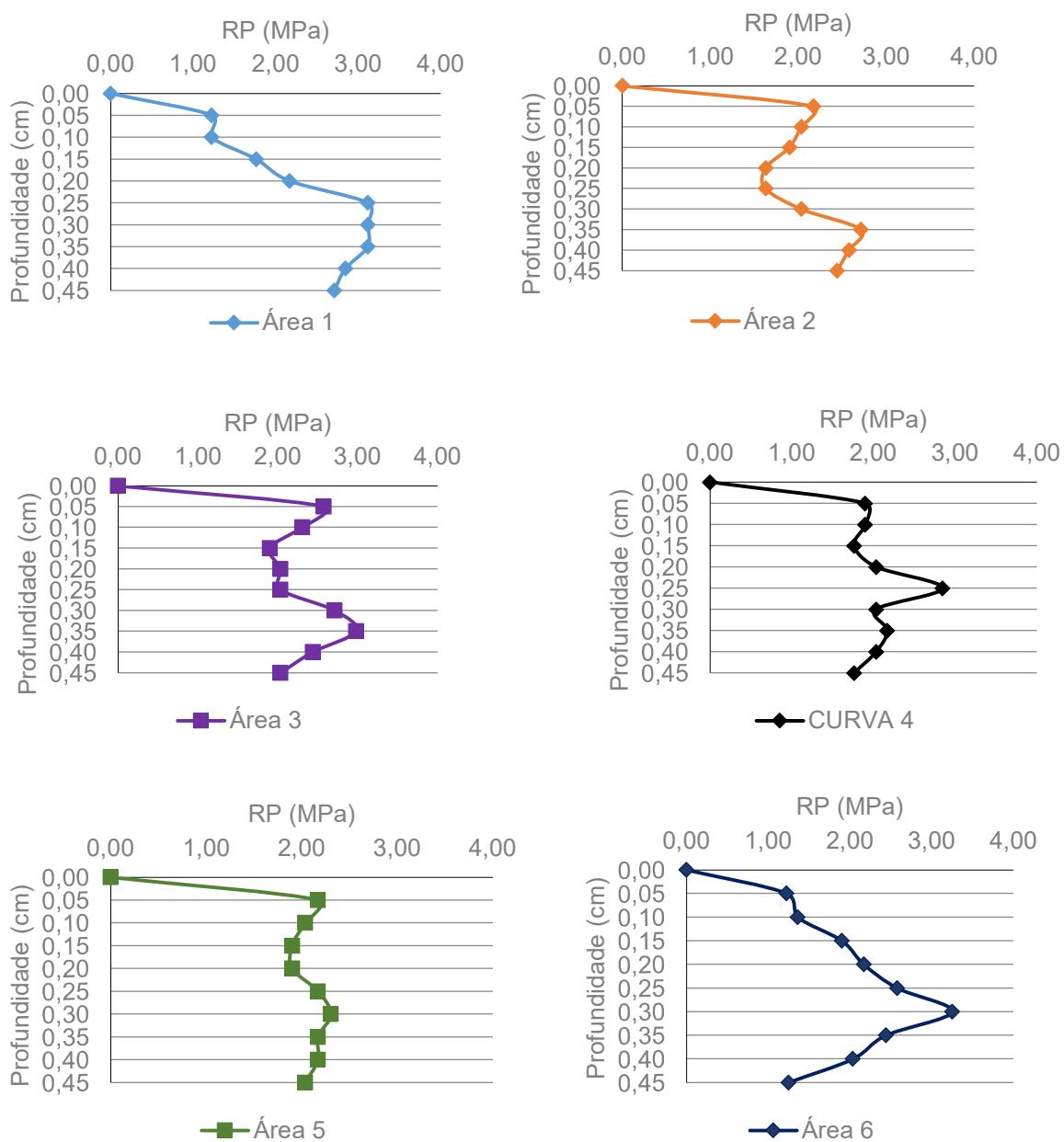
**TABELA 3** – Classes de resistência do solo à penetração para interpretação

Classe	Resistência à penetração (MPa)
Extremamente baixa	< 0,01
Muito baixa	0,01-0,1
Baixa	0,1-1,0
Moderada	1,0-2,0
Alta	2,0-4,0
Muito alta	4,0-8,0
Extremamente alta	> 8,0

Fonte: Arshad et al. (1996).

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 3 são apresentados os valores médios de resistência do solo à penetração obtidos nas áreas avaliadas na Fazenda Escola da UniEvangélica. Os dados apresentam grande variação na resistência a penetração dentro das áreas e em profundidade, mesmo que todas as áreas estejam no processo produtivo, os diferentes manejos empregados refletem em diferentes resistências observadas.



**FIGURA 3** - Resistência do solo a penetração (RP – MPa) nas diferentes áreas da Fazenda Escola da UniEvangélica, em diferentes profundidades do solo, Anápolis, GO

A umidade do solo em capacidade de campo nas áreas obtidas através de equações de pedotransferência, encontravam-se com teor de umidade entre 29,97% e 31,12% baseados no teor de argila médio das áreas entre 35% e 40%, sendo esse o valor de umidade adotado para todas as áreas.

Conforme a interpretação de Arshad et al. (1996), a grande maioria das áreas apresentaram pontos com valores acima de 2,0 MPa. Observa-se que nas seis áreas coletadas, mesmo com o método de coleta igual, sobre as mesmas condições, houve profundidades com grande variância em relação às demais, o que influenciou diretamente nos valores médios estabelecidos para os gráficos com profundidades de 0,05 m.

As áreas 1, 4 e 6 avaliadas apresentaram moderada resistência a penetração (Rp) no terço superior do solo na camada 0,00-0,15 m apresentando RP inferior a 2 MPa. Já para as demais áreas, nesta mesma profundidade, os valores foram considerados com RP alta (entre de 2 e 4 Mpa). Nas áreas observadas, os manejos agrícolas são realizados com o uso do tráfego de máquinas e implementos, o que deixa claro o motivo pelo qual as áreas se encontram com alto grau de resistência a penetração.

A não movimentação do solo no plantio direto, por si só não garante que a densidade do solo em profundidade não aumente. A compactação pode ocorrer devido a diversos fatores além do trânsito de máquinas, mas também por ausência de rotação de culturas, tráfego com valores de umidade do solo inadequados e baixa incorporação de matéria orgânica no solo.

Resultados semelhantes foram observados por Valente et al. (2019) ao avaliar a resistência mecânica à penetração em sistemas de manejo do solo, verificou valores de RP de 1,30 e 1,32 MPa na camada 0,10-0,15 m em sistema de plantio convencional e sistema de plantio direto respectivamente, sempre observando um menor valor de RP no sistema de plantio convencional em relação ao sistema em plantio direto, concluindo então, que os sistemas de manejo de solo causam modificações na estrutura do solo, provocando camadas com diferentes graus de compactação.

Abaixo da camada superficial todas as áreas apresentam alta RP, sendo a área 1 apresentou os maiores valores médios de RP na camada de 0,20 à 0,45 cm (Figura 3). Sendo uma área em plantio convencional, o tráfego de máquina e implementos é maior, para o preparo do solo das olerícolas que são trabalhadas nesta área.

As áreas sem revolvimento, plantio direto, também apresentaram valores elevados de compactação para a camada subsuperficial (Figura 3). Girardello et al. (2017) ao estudar resistência do solo à penetração e desenvolvimento radicular da soja sob sistema plantio direto

com tráfego controlado de máquinas agrícolas, concluiu que ocorre o aumento da RP na linha central do tráfego na camada de 0,05-0,40 m nos tratamentos com elevado tráfego de máquinas sendo um impeditivo para o desenvolvimento radicular da cultura em camadas mais profundas, concentrando-se apenas nos primeiros 0,10 m de profundidade.

Por se tratar de uma área com plantio direto e baixo trânsito de maquinário, era esperado resultados semelhantes ao obtidos por Tormena et al. (2002) que ao avaliar a resistência à penetração em Latossolo cultivado sob diferentes sistemas de preparo do solo constatou maiores valores de resistência do solo à penetração, no sistema de plantio direto em relação ao plantio convencional e preparo mínimo até a profundidade de 0,25 m, no qual, em camadas superficiais, sob PD, a RP atinge níveis altamente impeditivos ao crescimento das plantas. Entretanto, com o aumento da profundidade ocorre simultaneamente, a redução da RP em plantio direto enquanto em sistemas convencionais e preparo direto aumentam a RP invertendo a profundidade das camadas compactadas em cada sistema de manejo.

Pode-se destacar os efeitos dos sistemas de manejo sobre a estruturação do solo e presença de camadas adensadas em profundidade nas áreas. No sistema de plantio direto não é utilizado o revolvimento do solo, tendo isso provocado a elevação da densidade do solo que tende a provocar um maior grau de resistência à penetração do solo em todas as áreas avaliadas.

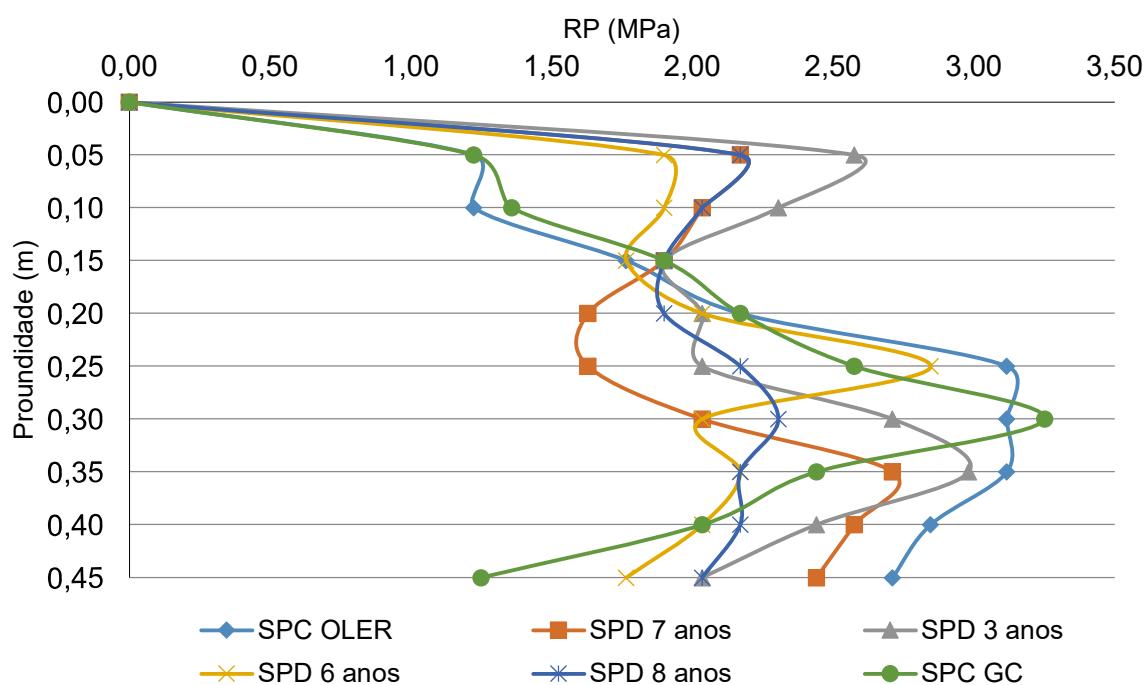
As camadas compactadas observadas nas áreas avaliadas na Fazenda Escola, influenciam diretamente o desenvolvimento do sistema radicular das plantas instaladas. Raízes pivotantes com maior diâmetro tendem a sentir mais os efeitos da compactação do solo do que as com raízes fasciculadas com diâmetro menor, pois conseguem fazer uso dos canais já presentes no solo, por espaço de raízes que estiveram anteriormente e deterioraram ou por fissuras (WHITELEY; DEXTER, 1982).

Merotto; Mundstock (1999), destacam que o crescimento das raízes pode causar deformação do solo numa zona próxima à ponta das raízes, e a pressão exercida contra as partículas e/ou agregados deve ser suficiente para propiciar a penetração e o alongamento das raízes, sendo que valores excessivos de resistência à penetração podem influenciar no crescimento das raízes em comprimento e em diâmetro. A menor exploração do solo pelas raízes causa menor acúmulo de matéria seca na parte aérea e, especialmente, nas raízes. A resistência do solo, isoladamente, caracteriza-se como um fator de diminuição do crescimento radicular.

A Tabela 4 e Figura 4 apresentam o resumo das RPs observadas nas áreas e permitem uma comparação mais direta entre as diferenças observadas nos diferentes manejos do solo e tempo sem revolvimento das áreas.

**TABELA 4 – Resumo das resistências a penetração (RPs) das áreas avaliadas na Fazenda Escola da UniEvangélica, Anápolis, GO**

Profundidade m	SPC Oler	SPD 7 anos	SPD 3 anos	SPD 6 anos	SPD 8 anos	SPC GC
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,05	1,22	2,17	2,58	1,90	2,17	1,22
0,10	1,22	2,03	2,31	1,90	2,03	1,36
0,15	1,76	1,90	1,90	1,76	1,90	1,90
0,20	2,17	1,63	2,03	2,03	1,90	2,17
0,25	3,12	1,63	2,03	2,85	2,17	2,58
0,30	3,12	2,03	2,71	2,03	2,31	3,25
0,35	3,12	2,71	2,98	2,17	2,17	2,44
0,40	2,85	2,58	2,44	2,03	2,17	2,03
0,45	2,71	2,44	2,03	1,76	2,03	1,25



**FIGURA 4 - Resumo gráfico das resistências a penetração (RPs) das áreas avaliadas na Fazenda Escola da UniEvangélica, Anápolis, GO**

Os sistemas de manejo convencional com olerícolas (área 1) e grandes culturas (área 6) apresentaram um comportamento semelhante em relação a Rp até o terço médio do solo conforme observado na figura 4, apresentando resistência a penetração moderado na camada 0,00-0,15m e alta na camada 0,15-0,30m, demonstrando uma correlação entre os manejos na questão do revolvimento do solo que ocorre no manejo convencional. Comportamento semelhante também foi observado por Ralich et al. (2008) onde concluiu que o plantio convencional apresentou os menores valores de resistência à penetração, na profundidade 0,00-0,10m, atribuindo ao fato de sistemas de plantio convencional, em que a camada superficial do solo é constantemente revolvida, ser comum observar aumento de sua macroporosidade e por consequência, uma menor compactação.

Os maiores valores de Rp foram também observados nos sistemas de manejos convencionais, no qual ocorre o aumento gradativo de Rp a partir dos 0,15m de profundidade até atingir seus valores máximos de 3,12 MPa entre 0,25-0,35m na área 1 e 3,25 MPa aos 0,30m na área 6. O aumento da compactação em profundidade em ambas as áreas apresenta valores de Rp impeditivos para o desenvolvimento apropriado do sistema radicular das culturas, principalmente aquelas com sistema radicular profundo que encontrarão camadas mais compactadas a medida que se aprofundam.

Segundo resultados obtidos por Freddi et al. (2007) as restrições físicas resultantes da compactação do solo provocaram alterações na morfologia do sistema radicular do milho, reduzindo a produtividade da cultura, mas não foram impeditivos ao enraizamento, demonstrando que apesar de não afetar diretamente o enraizamento, ainda causa danos de produtividade. Portanto, manejos com a utilização de subsolador e escarificador se tornam necessários ao longo do tempo nessas áreas visando descompactar as camadas mais profundas do solo para não se tornarem um fator limitante na produtividade das culturas.

Nota-se claramente nas áreas avaliadas, que o revolvimento do solo nos manejos convencionais, proporcionou à superfície do solo uma menor compactação se comparada as áreas de plantio direto que não tiveram a superfície do solo revolvido, sendo a área 4 a única exceção, o que pode ser explicado principalmente pelo baixo tráfego de maquinário na área reduzindo os efeitos de compactação superficial.

Ao comparar os sistemas de manejo de plantio direto entre si, é possível notar que no terço superior há maiores valores de Rp entre 0,05-0,10m no qual a área 3 em SPD com 3 anos apresenta os maiores valores enquanto a área 4 em SPD com baixo tráfego apresentam os

menores valores nessa camada. Em profundidades a partir dos 0,15m a área 3 também apresentou os maiores valores de Rp atingindo aos 0,35m valores de 2,98 MPa enquanto a área 2 em SPD com 7 anos sem revolvimento e auto tráfego de maquinário apresentou os menores valores, com 1,63 MPa com profundidade entre 0,20-0,25m.

Verificou-se uma grande variabilidade da Rp nas áreas de sistema de plantio direto em função do tempo e da intensidade de tráfego de maquinário na área, porém sem seguir padrões que se correlacionem entre si a ponto de atribuir a alguma variável o fato de ter mais ou menos resistência a penetração em diferentes profundidades. Dessa forma, para um estudo mais preciso, seria necessário conhecer o histórico das culturas nas áreas ao longo do tempo afim de poder correlacionar os valores de Rps obtidos com os tipos de culturas nas áreas e seus efeitos na dinâmica do solo.

O estudo teve como fator limitante a não coleta dos dados quantitativos de umidade e densidade do solo, sendo necessário a utilização de equações de pedotransferência para estimar o teor de umidade no solo apenas em função do teor de argila, portanto a escassez dos dados prejudicou os resultados de forma que se faz necessária a obtenção de mais variáveis como teor de areia, silte e matéria orgânica para uma aferição mais adequada e consequentemente resultados mais precisos.

## **5. CONCLUSÃO**

As áreas avaliadas apresentam diferentes resistências a penetração de acordo com a profundidade avaliada e o sistema de manejo empregado.

As áreas em plantio direto apresentam resistência a penetração alta desde os primeiros cm enquanto que nas áreas de plantio convencional a resistência a penetração aumenta a partir dos 0,15 m.

Somente as áreas 1 (SPC GC); 4 (SPD 6 anos) e 6 (SPC GC) não apresentaram Rp limitante na camada 0,00-0,15m, apresentando Rp inferior ao limite crítico de 2Mpa.

As áreas sob o sistema de plantio convencional olericultura (SPC Oler) e sistema de plantio convencional grande culturas (SPC GC) apresentaram respectivamente maior Rp nas condições de umidade avaliadas na profundidade 0,30m, indicando um risco potencial de restrição radicular nas camadas mais profundas do solo.

Novos estudos devem incluir a curva de compactação (curva de resistência) para eliminar o fator umidade e determinar a densidade crítica do solo, que é o real indicador de compactação.

## **6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- ALVES, M. C.; SUZUKI, L. E. A. S. **Influência de diferentes sistemas de manejo do solo na recuperação de suas propriedades físicas.** Acta Scientiarum. Agronomy, v. 26, n. 1, p. 27, 2004.
- ASSIS, R. L.; LANÇAS, K. P. **Agregação de um nitossolo vermelho distroférrico sob sistemas de plantio direto, preparo convencional e mata nativa.** Engenharia Agrícola, v. 30, p. 58-66, 2010.
- BERTOLLO, A. M.; LEVIEN, R. **Compactação do solo em Sistema de Plantio Direto na palha.** Pesquisa Agropecuária Gaúcha, v. 25, n. 3, p. 208-218, 2019.
- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo.** São Paulo: Ícone, 1990. 355 p.
- BOUMA, J. **Using soil survey data for quantitative land evaluation.** Advances in Soil Science, New York, v. 9, p. 177-213, 1989.
- BUDIMAN, M.; MCBRATNEY, A. B.; MENDONÇA-SANTOS, M. D. L.; SANTOS, H. D. **Revisão sobre funções de pedotransferência (PTFs) e novos métodos de predição de classes e atributos do solo.** Rio de Janeiro: Embrapa solos, 2003.
- CALEGARI, A.; DE CASTRO FILHO, C.; TAVARES FILHO, J.; RALISCH, R.; GUIMARÃES, M. F. **Melhoria da agregação do solo através do sistema plantio direto.** Semina: Ciências Agrárias, v. 27, n. 2, p. 147-157, 2006.
- CALONEGO, J. C. **Uso de plantas de cobertura na recuperação de solo compactado.** 2007.
- CHAVES, T. D. A.; DE ANDRADE, A. G.; LIMA, J. D. S.; PORTOCARRERO, H.; TIAGO DE ANDRADE CHAVES, P. R. **Recuperação de áreas degradadas por erosão no meio rural.** Niteroi: Programa Rio Rural, 2012. 19p.
- CIVIDINI, E.; SILVA, É. A.; NACHTIGALL, G. R. **Penetrômetro de impacto e sensores Arduino na avaliação da compactação de solos manejados com pastagens em videira sc.** In: ciências do solo: estratégias inovadoras para gestão e sustentabilidade. Editora Científica Digital, 2025. p. 117-132.
- CRUZ, J. das N. **Avaliação da compactação do solo e resistência à penetração em diferentes usos dos solos na região Oeste da Bahia.** 2021.
- DE MARIA, I. C.; CASTRO, O. M.; DIAS, H. S. **Atributos físicos do solo e crescimento radicular de soja em Latossolo Roxo sob diferentes métodos de preparo do solo.** R. Bras . Ci. Solo, 23:703- 709, 1999.
- EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo /** Paulo César Teixeira ... [et al.], editores técnicos. – 3. ed. rev. e ampl. – Brasília, DF : Embrapa, 2017. 574 p. : il. color.

FREDDI, O. D. S.; CENTURION, J. F.; BEUTLER, A. N.; ARATANI, R. G.; LEONEL, C. L. **Compactação do solo no crescimento radicular e produtividade da cultura do milho.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 31, p. 627-636, 2007.

GIRARDELLO, V. C.; AMADO, T. J. C.; SANTI, A. L.; LANZANOVA, M. E.; TASCA, A. **Resistência do solo à penetração e desenvolvimento radicular da soja sob sistema plantio direto com tráfego controlado de máquinas agrícolas.** Scientia agraria, v. 18, n. 2, p. 86-96, 2017.

GOEDERT, Wenceslau J.; SCHERMACK, Marcio Julio; FREITAS, Frederico Carneiro de. **Estado de compactação do solo em áreas cultivadas no sistema de plantio direto.** Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 37, p. 223-227, 2002.

HAKANSSON, I.; VOORHEES, W.R.; RILEY, H. **Vehicle and wheel factors influencing soil compaction and crop response in different traffic regimes.** Soil and Tillage Research, Amsterdam, v.11, p.239-282, 1988.

ISLAM, K. R.; WEIL, Raymond R. **Land use effects on soil quality in a tropical forest ecosystem of Bangladesh.** Agriculture, Ecosystems & Environment, v. 79, n. 1, p. 9-16, 2000.

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

LABEGALINI, N. S. et al. **Desenvolvimento da cultura do milho sob efeitos de diferentes profundidades de compactação do solo.** Revista de Agricultura Neotropical, v. 3, n. 4, p. 7-11, 2016.

MACHADO, P. D. A.; MACHADO, P. L. O. D. A. **Compactação do solo e crescimento de plantas: como identificar, evitar e remediar.** 2003.

MADARI, B. E. **Fracionamento de agregados: Procedimento para uma Estimativa Compartimentada do Sequestro de Carbono no Solo.** Comunicado Técnico ISSN, p. 1517-5685, 2004.

MELLONI, R.; MELLONI, E. G. P.; ALVARENGA, M. I. N.; VIEIRA, F. B. M. **Avaliação da qualidade de solos sob diferentes coberturas florestais e de pastagem no sul de Minas Gerais.** Revista Brasileira De Ciência Do Solo, 2008, 32(6), 2461–2470. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832008000600023>

MENDONÇA, E. S.; ROWELL, D. L. **Dinâmica do alumínio e de diferentes frações orgânicas de um Latossolo argiloso sob cerrado e soja.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, v.18, p.295-303, 1994.

MEROTTO JR, A.; MUNDSTOCK, C. M. **Crescimento de raízes de trigo afetado pela resistência mecânica do solo.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, 23, 197-202, 1999.

MORAES, M. T; DEBIASI, H.; FRANCHINI, J.; SILVA, V. **Intervalo hídrico ótimo em diferentes estados de compactação de um latossolo vermelho sob sistema plantio direto.** 2015.

RALISCH, R.; MIRANDA, T. M.; OKUMURA, R. S.; BARBOSA, G. M. D. C., GUIMARÃES, M. D. F.; SCOPEL, E.; BALBINO, L. C. **Resistência à penetração de um Latossolo Vermelho Amarelo do Cerrado sob diferentes sistemas de manejo.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 12, p. 381-384, 2008.

RAMOS, H. M. M. **Funções de pedotransferência para estimativa da densidade e atributos físico-hídricos de solos do estado do Piauí.** 2018. Tese de Doutorado.

REICHERT, J. M.; SUZUKI, L. E. A. S.; REINERT, D. J. **Compactação do solo em sistemas agropecuários e florestais: identificação, efeitos, limites críticos e mitigação. Tópicos em ciência do solo.** Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v. 5, p. 49-134, 2007.

REICHARDT, K.; TIMM, L. C. **Solo, planta e atmosfera: conceitos, processos e aplicações.** Barueri: Manole, 2008.

RICHART, A.; TAVARES FILHO, J.; BRITO, O. R.; LLANILLO, R. F.; FERREIRA, R. **Compactação do solo: causas e efeitos.** Semina: Ciências Agrárias, v. 26, n. 3, p. 321-343, 2005.

SILVA, A.P., KAY, B.D.; PERFECT, E. **Characterization of the least limiting water range.** Soil Science Society of America Journal, v.58, p.1775-1781, 1994.

SILVA, V.R. **Propriedades físicas e hídricas em solos sob diferentes estados de compactação.** Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, 2003. 171p. (Tese de Doutorado)

SOLOS, Embrapa et al. **Sistema brasileiro de classificação de solos.** Centro Nacional de Pesquisa de Solos: Rio de Janeiro, v. 3, 2013.

SOARES, M. D. R.; CAMPOS, M. C. C.; OLIVEIRA, I. A.; CUNHA, J. M.; SANTOS, L. A. C.; FONSECA, J. S.; SOUZA, Z. M. **Atributos físicos do solo em áreas sob diferentes sistemas de usos na região de Manicoré, AM.** Revista de Ciências Agrárias/Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences, v. 59, n. 1, p. 9-15, 2016. Disponível <<https://periodicos.ufra.edu.br/index.php/ajaes/article/view/2020>>. <http://dx.doi.org/10.4322/rca.2020>.

SOARES, F.C. **Uso de diferentes metodologias na geração de Funções de Pedotransferência para a retenção de água em solos do rio Grande do Sul,** 2013. 200 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola), Universidade federal de Santa Maria - UFSM, Santa Maria, RS.

TORMENA, C.A.; SILVA, Á. D.; LIBARDI, P. L. **Caracterização do intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Roxo sob plantio direto.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, v.22, p.573-581, 1998.

TORMENA, C. A.; BARBOSA, M. C.; COSTA, A. C. S. D.; GONÇALVES, A. C. A. **Densidade, porosidade e resistência à penetração em Latossolo cultivado sob diferentes sistemas de preparo do solo.** Scientia Agricola, v. 59, p. 795-801, 2002.

VALENTE, G. F., DA SILVA, J. N., DA SILVA PINTO, D. R.; GALVÃO, J. R. **Resistência mecânica à penetração em sistemas de manejo do solo.** Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável, v. 14, n. 1, p. 140-145, 2019.

VEREECKEN, H., DIELS, J., VAN ORSHOVEN, J., FEYEN, J., & BOUMA, J. **Function al evaluation of pedotransfer functions for the estimation of soil hydraulic properties.** Soil Science Society of America Journal, v. 56, p. 1371–1378, 1992.

WHITELEY, G.M.; DEXTER, A.R. **Root development and growth of oilseed, wheat and pea crops on tilled and non-tilled soil.** Soil & Tillage Research, Amsterdam, v.2, n.4, p.379-393, 1982.

XAVIER, F. D. S. **Solo-definição e importância.** 2021. Repositório digital da Embrapa. Disponível em: <<http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1134658>>