









Condutividade hidráulica do solo não saturado em diferentes sistemas de preparo de solo

Hydraulic conductivity of unsaturated soil in different tillage systems

Matheus André Santos¹; Leonardo França da Silva^{2*}; Jéssica Mansur Siqueira Crusoé¹; Genelício Crusoé Rocha¹; José Rafael Franco³; Cristiano Marcio de Souza²; Ariadna Vieira Faria⁴; Roldão Carlos Andrade Lima⁵

¹ Universidade Federal de Viçosa (UFV) – Minas Gerais – Brasil;

² Universidade Federal de Grande Dourado (UFGD) – Mato Grosso do Sul – Brasil;

³ Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (UNESP) – São Paulo – Brasil;

⁴ Universidade Estadual do Piauí – (UESPI) – Piauí – Brasil;

⁵ Universidade Estadual de Goiás (UEG) – Goiás – Brasil.

*Autor correspondente. E-mail: leonardo.silva@ufv.br

Recebido: 30/12/2024; Aceito: 25/02/2025

RESUMO

A condutividade hidráulica de um solo é a taxa de mobilidade de água nas camadas do solo, influenciada por fatores externos, como cobertura vegetal e matéria orgânica, e internos, como teor de água e porosidade. A condutividade hidráulica não saturada pode ser avaliada pela taxa de infiltração superficial de água, essencial para planejar o manejo eficiente de solo e água. Em Sete Lagoas-MG, a Embrapa Milho e Sorgo conduz há 20 anos um experimento com três métodos de preparo do solo: Grade/Disco, Grade/Escarificador e Plantio Direto, todos com trânsito de máquinas. Utilizando o Infiltrômetro de Tensão Mini Disc, a infiltração de água foi medida em 30 repetições por tratamento. Não houve diferença significativa entre Plantio Direto e Grade/Escarificador. O Plantio Direto teve a maior média, enquanto o método convencional Grade/Disco apresentou o menor valor de condutividade hidráulica média (0,000673 cm/s), diferindo estatisticamente dos demais tratamentos.

Palavras-chave: Água no solo, Determinação da condutividade, Plantio direto.

ABSTRACT

The hydraulic conductivity of a soil is the rate of water mobility in the soil layers, influenced by external factors such as vegetation cover and organic matter, and internal factors such as water content and porosity. Unsaturated hydraulic conductivity can be assessed by the rate of surface water infiltration, which is essential for planning efficient soil and water management. In Sete Lagoas-MG, Embrapa Milho e Sorgo has been conducting an experiment for 20 years with three methods of soil preparation: harrow/disc, harrow/scarifier and no-till, all with machine traffic. Using the Mini Disc Tension Infiltrometer, water infiltration was measured in 30 repetitions per treatment. There was no significant difference between no-till and harrow/scarifier. No-till had the highest average,

while the conventional harrow/disc method had the lowest average hydraulic conductivity (0.000673 cm/s), differing statistically from the other treatments.

Keywords: Water in the soil, Determination of conductivity, No-till farming.

INTRODUÇÃO

A condutividade hidráulica do solo é uma propriedade física muito estudada quando se pretende avaliar a movimentação de água no solo, a erosividade de uma área ou o dimensionamento de sistemas de drenagem.

A capacidade de armazenamento de água de um solo é um fator limitante para o desenvolvimento de várias culturas. Ao infiltrar no solo, a água pode ficar retida nos seus poros, e parte dela é disponibilizada para as raízes. O excesso de água infiltrada é redistribuído para os horizontes do solo podendo também recarregar os aquíferos. Para Oliveira *et al.* (1995), estudar e conhecer a condutividade hidráulica de um solo é compreender o armazenamento máximo de água que o solo poderá reter e que ficará disponível para o desenvolvimento das plantas. Assim podemos definir a máxima absorção do solo em ocasião de uma chuva, e manipular alguns fatores de produção como o manejo da irrigação.

A condutividade hidráulica superficial de um solo pode ser expressa a partir da determinação da taxa de infiltração superficial da área estudada. A condutividade hidráulica é a caracterização da taxa de mobilidade de água nas camadas do solo, sendo essa mobilidade baseada nas condições externas ao solo (como o tipo de cobertura vegetal, a temperatura e o método de preparo de solo), nas condições internas (teor de água e matéria orgânica no solo, geometria dos poros) e nos gradientes hidráulicos - diferenças de potenciais matriciais (Brady; Weil, 2013; Antonino *et al.*, 2001). Então a mobilidade de água no solo vai depender principalmente da taxa de infiltração de água, que é dependente de vários fatores de como a cobertura vegetal da área, o tipo de solo, a gravidade no solo e o preparo do solo antes do plantio.

Segundo os autores Davis e De Wiest (1966), o termo infiltração proposto por Horton expressa a água que entra no solo ou na rocha. A taxa de infiltração é a relação da quantidade de água que atravessa a superfície do solo por unidade de tempo. Segundo Bernardo *et al.* (2019), quando o solo está seco a taxa de infiltração tende a decrescer com o tempo, atingindo um valor final constante.

O estudo da taxa de infiltração d'água não é apenas de importância da física do solo, mas também é alvo de estudos biológicos, tendo grande importância para o abastecimento de lençóis freáticos e manutenção da microbiota no solo, além de proporcionar água para a cobertura vegetal. Quanto maior a capacidade do solo de absorver água da chuva menor serão os efeitos de erosão, movimento de massas, e assoreamento de uma determinada área (Bertoni; Lombardi Neto, 2017).

Anterior a uma incidência de chuvas, um solo quando seco tende a apresentar a ocorrência de uma precipitação maior que a taxa de entrada de água (infiltração). De acordo com Lima (2008), ao iniciar a chuva, ocorre na superfície do solo uma infiltração máxima, ocasionada pela capacidade do solo em absorver água, porém a medida que o solo vai se encharcando, essa capacidade de absorção vai decrescendo de forma exponencial, até atingir uma taxa constante, denominada de infiltração básica no solo. A taxa de infiltração básica é equivalente à condutividade hidráulica dos solos (Sales *et al.*, 1999).

Por se tratar de um fenômeno dependente de condições da superfície do solo, a infiltração é diretamente influenciada pelo preparo do solo, que irá exercer um efeito temporário nesta, deixando-o mais solto, aumentando a infiltração de água. De acordo com Panachuki *et al.* (2006), quando a superfície do solo não está protegida com vegetação ou sem alguma cobertura morta, fatores climáticos como a gota da chuva por exemplo atuam na

superfície do solo, diminuindo a rugosidade superficial e promovendo uma camada adensada na superfície promovendo a impermeabilidade do solo reduzindo a taxa de infiltração.

Dentre essa argumentação, se vê a necessidade de conhecer as características físicas do solo e da área adotada (clima, vegetação e o regime de chuvas local). É necessária uma avaliação detalhada de qual o método de preparo do solo mais adequado para a área a ser trabalhada, para assim recomendar o sistema de preparo do solo que deve ser adotado quando se interessa cultivar na área.

Um dos sistemas muito utilizado de preparo do solo é o Preparo Convencional. De acordo com o site Agência Embrapa de Informação Tecnológica, (Bertol *et al.*, 2004), este método quando aplicado visando a redução da compactação, ou apenas a incorporação de corretivos e fertilizantes nos solos, tende a alterar as condições físicas do solo mais acentuadamente através do revolvimento da camada superficial. Este preparo faz com que os aglomerados do solo se desagregam promovendo a incidência de macroporos, assim tende a ocorrer a elevação da permeabilidade do solo que vai armazenar mais ar e água. Porém técnicas de preparo convencional expõem as camadas do solo, e na ocorrência de chuvas em camadas adensadas podem ocasionar na formação de uma crosta superficial pode impermeabilizar a quase 90% a infiltração de água no solo, favorecendo o processo de erosão Panachuki *et al.* (2006).

A estrutura física do solo pode sofrer alterações em sua qualidade a partir de preparos intensivos do solo, do tipo de solo, da cultura e do clima. Então surgem os métodos de preparo do solo conservacionistas devido à preocupação com a conservação do solo e de suas características físicas. Muito têm se optado por operações que provoquem o mínimo de perturbação no solo, assim a adoção do uso de Plantio Direto e o Cultivo Mínimo vêm sendo bastante explorados atualmente pois promovem uma baixa mobilização do solo e mantêm maior proteção da superfície com os resíduos culturais. Segundo Alves e Cabeda (1999), no Plantio Direto apenas ao longo das linhas de plantio é que ocorre o revolvimento do solo, apresentando entre elas uma superfície de baixa rugosidade, porém com alta cobertura residual, que protege o solo.

Entretanto, ao se realizar operações no solo que envolva seu menor revolvimento, pode acarretar uma compactação na camada superficial, impermeabilizando a infiltração de água no solo, o que não é desejado para o desenvolvimento da cultura, uma vez que além de reduzir a disponibilidade da água para as raízes, pode também contribuir com o escoamento superficial, aumentando assim a erosividade e degradação do solo.

Ao adotar o método de preparo convencional, a realização da aração é uma técnica que visa a incorporação de fertilizantes no solo e reduzir a taxa de compactação aumentando os espaços porosos no solo que propiciarão um melhor desenvolvimento das raízes, uma vez que o movimento de água no solo será facilitado, ocasionando em uma maior taxa de infiltração de água.

Porém há vários fatores que podem influenciar diminuindo essa taxa. O principal fator que influencia na taxa de infiltração é a cobertura vegetal do solo. Outro fator importante é o tempo de cultivo na área, que dependendo das propriedades do solo, quando este é cultivado a muito tempo tende a apresentar uma estrutura original alterada devido o fracionamento dos agregados que promove a diminuição dos macroporos, aumento dos microporos, diminuindo assim a taxa de infiltração. Outras práticas que favorecem o adensamento e a compressão no solo também podem diminuir a taxa de infiltração (trânsito de máquinas e animais na área).

Objetivou-se com este estudo caracterizar a condutividade hidráulica do solo não saturado a partir da avaliação da infiltração da água em um solo cultivado sob sistema de plantio direto, cultivo mínimo e sistema convencional. Este estudo também visa mostrar a variabilidade dos valores de condutividade hidráulica dentro de um mesmo tratamento (área homogênea).

MATERIAL E MÉTODOS

Caracterização da área

Este estudo foi realizado em área de amostragem conduzida na Fazenda Experimental na sede da Embrapa Milho e Sorgo na cidade mineira de Sete Lagoas, cujas coordenadas geográficas são latitude 19°28'S e longitude 44°15'W, pertencente a região metropolitana de Belo Horizonte. Com o clima característico tropical de altitude com verões quentes e chuvosos e invernos secos, apresentando uma altitude média de 732 metros e um índice médio pluviométrico anual de 1.272 milímetros. A área é pertencente ao bioma Cerrado, classe de solo predominante é o Latossolo Vermelho distrófico (Santos *et al.*, 2018), textura argilosa. Desde a safra de 1994/95 a área experimental, com 4,19 hectares, vem sendo trabalhada com diferentes métodos de preparo do solo antes do cultivo.

Foram avaliados três tratamentos, cada um com três repetições: Plantio Direto (PC), Grade/ Escarificador (GE), e Grade/ Disco (GD). As parcelas experimentais são de 20m x 16m (Figura 1). Da safra de 1995/96 até a safra 2004/05 foi realizado o plantio anual do milho com sucessão da cultura da soja. A partir de 2004/05 apenas o tratamento com plantio direto recebia a sucessão milho/soja, nos demais foram feitos apenas um plantio do milho a cada ano. Durante a safra foi comum à aplicação de glifosato em toda a área experimental, e as vezes foi executado a passagem de um tritador. Para o plantio utilizava uma plantadora/adubadora. Os tratos culturais para todos os três tratamentos foram realizados baseados na recomendação para a cultura do milho.



Figura 1. Área Experimental – Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas – MG.

Caracterização dos tratamentos

1) Plantio Direto

No tratamento destinado ao plantio direto realizava-se a dessecação da área com Glifosato antes do plantio, semeando sob baixa quantidade de palhada.

2) Grade/ Escarificador

Tratamento realizado com grade aradora alternado com arado escarificador na safra seguinte. Para o preparo do solo utilizou-se uma grade aradora intermediária com 16 discos de 28", e um arado escarificador com 6 hastes. Após o preparo do solo, recebia a aplicação de uma grade niveladora.

3) Grade/ Disco

Tratamento realizado com grade aradora alternada com arado de disco na safra seguinte. Para o preparo do solo utilizou uma grade aradora intermediária com 16 discos de 28", e um arado com 3 discos de 32" de diâmetro. Após o preparo do solo, procedia-se a aplicação de uma grade niveladora.

Amostragem

Visando uma maior aproximação das características reais de campo, a condutividade hidráulica no solo deve ser avaliada a partir de métodos que busquem uma maior proximidade com o ocorrido de forma natural, sendo que a infiltração é diretamente influenciada pelas condições de superfície e a saturação do solo (Cecílio *et al.*, 2007). Para a caracterização da condutividade hidráulica no solo foi avaliado a taxa de infiltração de água utilizando o infiltrômetro de Tensão Mini Disc.

O infiltrômetro é um tubo cilíndrico de aproximadamente 33 cm (centímetros) de comprimento e um diâmetro de 3,1 cm. O equipamento é composto por duas câmaras, uma utilizada como reservatório de água e a outra utilizada para a regulagem da sucção. A câmara superior (ou câmara de bolhas) recebe água e apresenta um tubo responsável pela regulagem da sucção. A câmara inferior apresenta uma graduação com o volume identificado em mL e contém a água que é infiltrada no solo, determinada pela sucção controlada na câmara superior, para isso ambas são conectadas entre si por um tubo mariotte. Localizado na parte inferior do equipamento, o qual entra em contato direto com o solo, existe um micro disco poroso de aço inoxidável, com 4,5 cm de diâmetro e 3 mm (milímetros) de espessura. Através dos poros do micro disco haverá a fluidez da água do equipamento para o solo.

Quando o infiltrômetro está em contato com o solo a água retida na câmara inferior começa a infiltrar no solo, determinada pelas características hidráulicas do mesmo. A regulagem da velocidade de sucção é baseada no tipo de solo amostrado. A taxa de infiltração será determinada pela quantidade de água que saiu da câmara inferior e infiltrou no solo em razão de certo intervalo de tempo. Este intervalo de tempo é definido baseado nas características físicas do solo na ocasião da leitura.

Para a amostragem, em cada tratamento (PD, Grade/ Escarificador, Grade/Disco) foi realizado um total de 30 repetições da leitura no infiltrômetro. Todas as amostras tinham como volume inicial 90 mL. A variação do volume de água infiltrada foi mensurada a cada 30 segundos, a uma taxa de velocidade de sucção de 1,5cm (por se tratar de um solo argiloso). Para a contagem do tempo foi utilizado um cronômetro simples. Toda a área experimental atualmente apresentava-se na palhada do milho. Em cada ponto era realizado um preparo da área experimental onde era retirada a cobertura vegetal, e a superfície do infiltrômetro era colocado no limpo, com uma superfície de contato do solo o mais horizontal possível. A distribuição dos pontos avaliados seguiu o Delineamento Inteiramente Casualizado, buscando representar toda a área do tratamento (região central e bordaduras). Todos os pontos de amostragem foram georreferenciados por média através de receptores GPS.

Determinação da condutividade não saturada – K

Para determinar a condutividade hidráulica de cada ponto a partir da infiltração superficial, os dados obtidos foram avaliados no software New Mini Disk Infiltrometer Macro, disponibilizado pelo site do fabricante do mini disk (decagon.com.br/produtos/lisimetros/mini-disk). Este software trata-se de uma planilha eletrônica do Excel onde a partir da entrada dos dados de tempo e volume de água infiltrado, ela fornece a infiltração em centímetros,

além de gerar uma curva e uma equação de regressão. Para tanto, é necessário adequar o software para a classe de solo amostrada, e a velocidade de sucção que foi utilizada na avaliação.

Para gerar o valor de K, o software segue o modelo proposto por Antonino *et al.* (2001) que é baseado na medição da infiltração acumulada em decorrer do tempo. Este método é adequado para solos não saturados. Segundo o método a condutividade - K – em cm/s, é calculada pela equação:

$$K = \frac{C1}{A} \quad (1)$$

em que C1 é um parâmetro correspondente a condutividade, responsável pelo declive da curva de infiltração acumulada em relação ao tempo decorrido apresentada pelo programa. Ao gerar a curva Infiltração Acumulada x Tempo decorrido, obtêm-se uma equação do tipo: $y = C1x^2 + x$ e um $R^2 = 1$, sendo o valor C1 aquele termo que acompanha o x^2 , (ver em anexo os gráficos 1, 2 e 3, gerados para os tratamentos avaliados). A é um valor correspondente aos parâmetros “van Genuchten” que engloba o tipo de solo, a sucção, a taxa e o raio do mini disk.

A pode ser calculado através da Equação 2, quando o n é menor que 1,9 (argila n=1,09).

$$A = \frac{11,65(n^{0,1} - 1) \exp[7,5(n - 1,9)\alpha h_0]}{(ar_0)^{0,91}} \quad (2)$$

$n < 1,9$

em que n e α são parâmetros tabelados por “van Genuchten” para a classe de solo amostrada (um Argissolo tem o valor de α tabelado como 0,008 e um n com 1,09) (Tabela 1), o valor de r_0 corresponde ao raio do disco, que para o equipamento utilizado é equivalente a 2,25 cm, e h_0 é a sucção da superfície no disco, aqui trabalhado como - 1,5 cm. Como o $n < 1,9$, a equação utilizada foi a (2) e o valor obtido para A corresponde á 4,1971603578.

Devido à condutividade hidráulica ser uma característica do solo que apresenta grande variabilidade dentro de um mesmo talhão, é importante caracterizar a umidade do solo no momento da avaliação. A amostragem foi realizada no mês de outubro de 2015, na ocasião a região vinha apresentando alguns dias de seca, mas no dia anterior à amostragem houve chuva durante a noite. As amostras de umidade foram retiradas do solo e imediatamente colocadas em recipientes hermeticamente fechados e vedados. Foram realizadas três repetições de umidade para cada tratamento. Cada repetição continha amostras compostas que caracterizava todo o talhão. Para a determinação da umidade, a massa dos vasilhames (lata + tampa) já era conhecida, então foi pesada a massa do solo úmido (massa água + solo) e as amostras levadas para uma estufa, onde secaram a 105° durante 48 horas. Posterior à secagem houve uma nova medida da massa das amostras, agora secas. Esse procedimento foi realizado no laboratório de Física do Solo na sede da Embrapa, respeitando todos os procedimentos previstos na norma para a realização deste ensaio. O valor da umidade atual do solo foi encontrado pela equação 3:

$$U \text{ Atual} = \frac{(M \text{ água} + \text{ solo}) - M (\text{ solo seco})}{M (\text{ solo seco})} * 100 \quad (3)$$

Análise estatística

O experimento foi analisado seguindo o modelo experimental de Delineamento Inteiramente Casualizado, com 30 repetições da leitura do infiltrômetro para a infiltração de água para cada tratamento. Os dados avaliados

foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e avaliados em Teste *Tukey*, realizado pelo programa *Sisvar* versão 5,6, adotando um $\alpha=0,05$. Também foram analisados na estatística, os valores de umidade atual do solo, três repetições para cada tratamento, analisados nas mesmas condições e significância de condutividade.

RESULTADOS

Uma das características do solo que influencia diretamente na taxa de infiltração de água no solo é o seu teor de água atual. Na área amostrada, o valor de umidade não apresentou diferença significativa entre os tratamentos avaliados. Conforme gráfico abaixo, a área amostrada apresentou um valor médio de teor de água no solo de 35,6%. O maior valor de umidade foi apresentado pelo tratamento Plantio Direto, com aproximadamente 37%, e o menor valor pelo tratamento Grade/Disco com 34,5%. O tratamento Grade/Escarificador apresentou um valor médio de umidade de 35% aproximadamente.

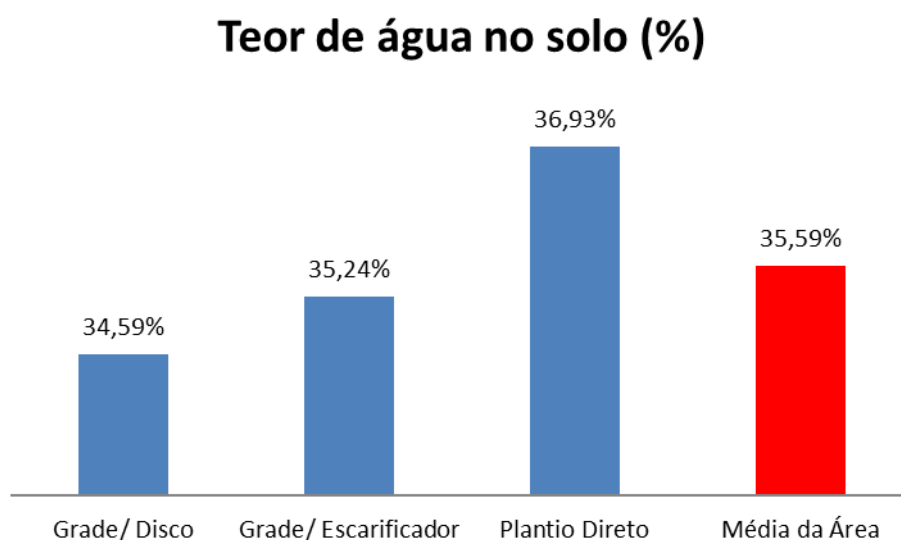


Figura 2. Teor de água no solo para os tratamentos avaliados.

A condutividade hidráulica na superfície do solo é uma propriedade física que apresenta alta variabilidade espacial. Neste estudo foi observada, dentro de um mesmo talhão, a variabilidade do valor de condutividade distinto entre os pontos analisados (Figura 3). No experimento, a condutividade hidráulica foi avaliada a partir da taxa de infiltração de água na camada superficial dos tratamentos. A área amostral apresentou um valor médio de $K = 0,0008767 \frac{cm}{s}$. Não houve diferença significativa para os valores médios de K entre os tratamentos Plantio Direto e Grade/Escarificador. O Plantio Direto, modelo de preparo do solo mais conservacionista foi o tratamento que apresentou a maior valor de K, ($K = 0,002285 \frac{cm}{s}$) e da média das repetições dentro os tratamentos, $K = 0,001037 \frac{cm}{s}$. Mostrando a variabilidade dos pontos avaliados para os valores de condutividade (ver tabela 2) o menor valor de K apresentado dentro do tratamento foi de $K = 0,000253 \frac{cm}{s}$. No tratamento Grade/Escarificador, mistura de sistema convencional/conservacionista, o valor médio de K correspondente foi

$K = 0,000920 \frac{cm}{s}$. A condutividade hidráulica apresentou alta variação dentre os pontos amostrados, variando conforme a tabela 1 entre 0,001615 cm/s á 0,000467 cm/s (ver em anexo 4 e 5).

O Tratamento Grade/Disco apresentou um valor de K médio estatisticamente diferente dos demais conforme gráfico abaixo, para um alfa adotado de 5% de significância. Diferenciando dos outros dois tratamentos, o modelo convencional apresentou o menor conjunto de médias dos valores de K, 0,000673 cm/s. A variação dentro do tratamento corresponde a 0,001213 cm/s, maior valor apresentado no tratamento, para 0,000192 cm/s menor valor apresentado em todas as amostras.

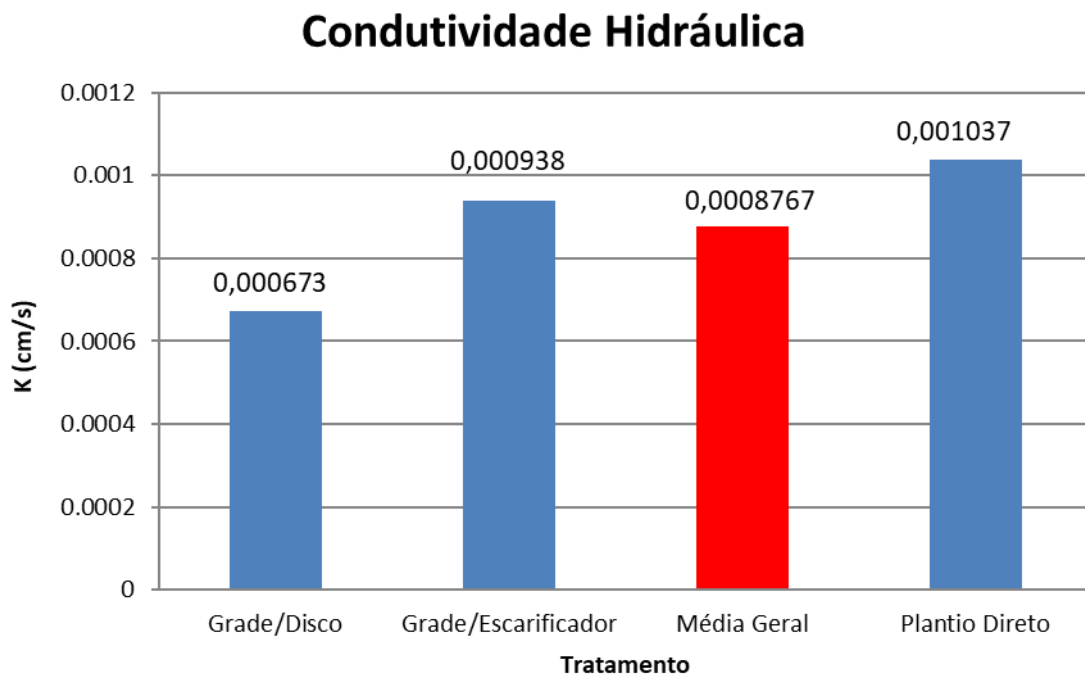


Figura 3. Valores de K, média, em cm/s, para os tratamentos GD, GE, PD e média amostral.

Ainda trabalhando com a condutividade, o tratamento com Plantio Direto foi o que apresentou o maior volume de água consumido para a infiltração no solo, num valor de 22 mL de água infiltrado correspondente á 1,36 cm em um intervalo de tempo de 300 segundos (ver em anexo 6). Também pertence ao tratamento a maior infiltração de água na camada superficial correspondendo a 3,21cm no mesmo intervalo de tempo, observado no gráfico abaixo. Próximo aos dados de Plantio Direto, o tratamento com Grade/Escarificador apresentou uma infiltração média de 21 mL de água, em 300 segundos, correspondendo 1,33 cm de solo infiltrado. O menor valor de infiltrações foi apresentado pelo tratamento Grade/Disco com um valor médio de água infiltrado de 16 mL em 300 segundos, correspondente á uma infiltração de 1,04 cm na camada superficial do solo. Este tratamento também apresentou o menor valor encontrado para a infiltração superficial, aproximadamente 0,50 cm no mesmo intervalo de tempo.

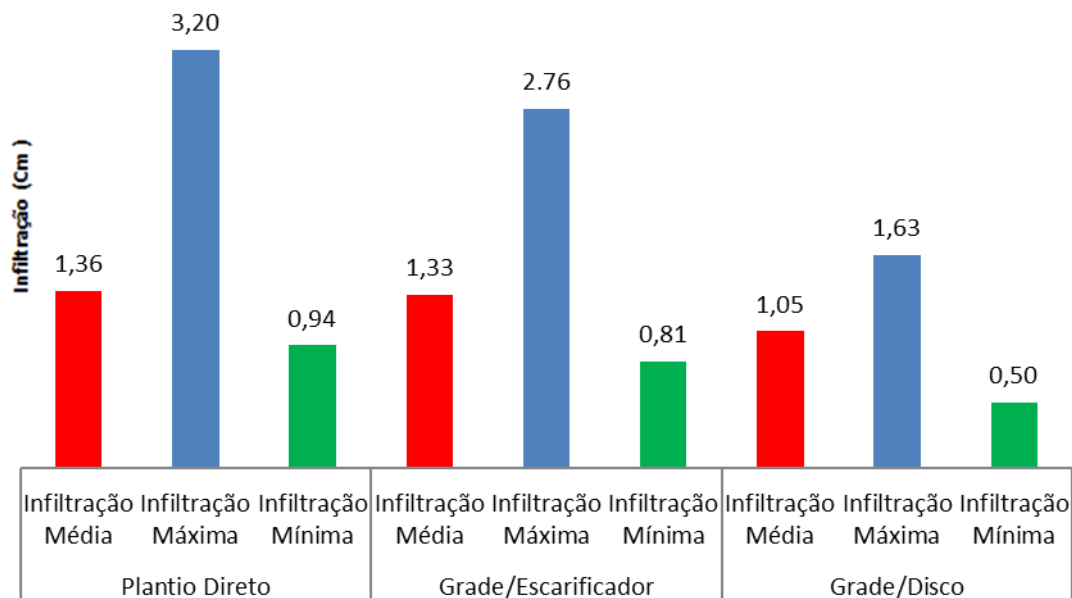


Figura 4. Valores de infiltração de água no solo em diferentes métodos de preparo em cm, para os tratamentos GD, GE, PD e média amostral.

Condutividade hidráulica x umidade

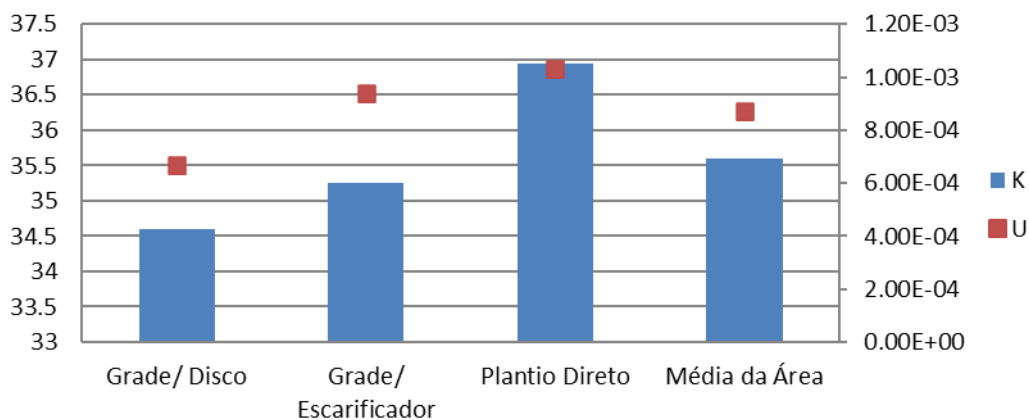


Figura 5. Condutividade hidráulica do solo não saturado e valores de umidade do solo para os sistemas de preparo avaliados.

DISCUSSÃO

O uso de diferentes práticas de manejo do solo pode promover alterações nos atributos físicos, químicos e biológicos do solo, assim dentro de uma mesma classe taxonômica, a adoção de sistemas conservacionistas e convencionais de preparo em uma mesma área pode resultar em características distintas para solos homogêneos (Carneiro *et al.*, 2009). O uso excessivo do Preparo Convencional do solo em uma mesma área, assim como vem acontecendo nos tratamentos deste experimento, com grade mais arado, principalmente quando mal planejado, pode promover a compactação das camadas do solo ao longo dos anos, resultado de preparos intensivos a uma mesma profundidade de trabalho, (Milho do Plantio a Colheita).

Na ocasião da avaliação, o tratamento totalmente convencional Grade/Disco, apresentou a menor condutividade hidráulica para a camada superficial do solo $K=0,000673$ cm/s, foi observada durante a avaliação um solo mais seco, porém mais duro e compactado. A compactação do solo pode alterar a geometria do poro, interferindo no valor de potencial mátrico, assim diminui a taxa de infiltração de água. Neste tratamento um pequeno escoamento superficial da água foi observado, resultado da não absorção de água pelo solo após determinado tempo de infiltração de água, esse escoamento aparecia geralmente perto dos 270 segundos decorridos da avaliação para os pontos mais compactados do tratamento.

Quando Silva *et al.* (2003) compararam diferentes sistemas de preparo de solo a partir da infiltração de água através do Permeâmetro de Guelph, foi observado que o Plantio Direto apresentava uma maior eficiência na condução de água pelos poros quando se compara aos métodos de preparo convencional, assim, mesmo com menor porosidade total (devido ao não revolvimento do solo), espera-se que o sistema conservacionista apresente a condutividade hidráulica igual ou superior da que é normalmente encontrada nos tratamentos de preparo convencional.

Da procura por um método de preparo do solo que fosse menos agressivo e proporcionasse maior estabilidade e rendimento das culturas, foram desenvolvendo sistemas de preparo conservacionistas, que promovam uma interferência menor na estrutura do solo quando se compara aos modelos convencionais. Estudos anteriormente realizados na área já indicaram melhores resultados na qualidade física do solo na ausência ou com o menor revolvimento do solo (Dieckow *et al.*, 2004). Dentre os tratamentos podemos destacar o uso do Arado escarificador, que em condições de planejamento da operação adequado não causa compactação, não revolve o solo, somente o torna mais frouxo (Milho do Plantio a Colheita), assim no tratamento Grade/Escarificador, um mix das concepções convencionais e conservacionistas não apresentou uma diferença significativa no valor de condutividade hidráulica ($K=0,000920$) quando comparado ao outro sistema alinhado a conservação do solo que é o Plantio Direto. O Plantio Direto por promover maior cobertura na superfície do solo, e não revolvê-lo resultando na não criação de uma camada compactada de solo, apresentou o que era esperado; a maior condutividade hidráulica dos tratamentos avaliados ($K=0,001037$ cm/s). Para melhor comparação dos resultados de umidade e condutividade hidráulica encontrada em cada tratamento, foi desenvolvido o gráfico abaixo correlacionando Umidade e condutividade hidráulica.

Diferindo da correlação esperada na literatura em que o solo com maior teor de água apresentasse o maior valor de condutividade hidráulica, vários fatores podem ter contribuído para que o tratamento conservacionista Plantio Direto apresentasse o maior valor de K , dentre eles a intensidade do preparo do solo nos demais tratamentos (20 anos de preparo de solo), e a formação de mais macro do que microporos devido as raízes que ficam na área com Plantio Direto favorecendo a passagem de ar e água.

Mesmo não removendo o solo no Plantio Direto, a geometria características dos poros que constituem a camada superficial do tratamento, assim como a cobertura vegetal presente na área influenciou na taxa de infiltração de água, apresentando o maior volume de água infiltrado em uma repetição, maior média dos valores de K , maior média da infiltração da água em cm.

O tratamento semiconservacionista Grade/Escarificador apresentou valores médios para as características avaliadas. Já o tratamento com Grade/Disco foi o que mais se destacou do conjunto amostral caracterizando-se por promover alterações físicas na qualidade do solo, apresentado os menores valores de água infiltrado em uma repetição, de média dos valores de K , e média da infiltração da água em cm. Em relação a umidade atual do solo, não houve diferença significativa entre os tratamentos, onde a área amostral apresentava uma umidade média de 35,6%.

CONCLUSÃO

O Sistema Plantio Direto e o Cultivo Mínimo (Grade/Escarificador) apresentaram maior condutividade hidráulica do solo não saturado. Enquanto o plantio convencional apresentou menor condutividade hidráulica do solo não saturado.

O Sistema Plantio Direto adotado apresenta indícios de boa qualidade física do solo, devendo, portanto, ser melhor explorado quanto ao tema.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), por uma bolsa de iniciação científica concedida e ao Programa de Bolsa de Incentivo à Pesquisa e Produção Científica (PROBIP) da Universidade Estadual de Goiás (UEG) por duas bolsas de incentivo à pesquisa.

REFERÊNCIAS

- ALVES, M. C.; CABEDA, M. S. V. Infiltração de água em um Podzólico Vermelho-Escuro sob dois métodos de preparo, usando-se chuva simulada com duas intensidades. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, p. 753-761, 1999. <https://doi.org/10.1590/S0100-06831999000400001>
- ANTONINO, A. C. D.; ANGULO-JARAMILLO, R.; SOUZA, E. S. de; NETTO, A. M.; CARNEIRO, C. J. G.; MONTENEGRO, A. A. A. Determinação da condutividade hidráulica e da sorvidade de um solo com infiltrômetro a disco. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 5, n. 2, p. 213-219, 2001. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662001000200012>
- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. 10. ed. Piracicaba: Ícone Editora, 2017. 392p.
- BERTOL, I.; ALBUQUERQUE, J. A.; LEITE, D.; AMARAL, A. J.; ZOLDAN JUNIOR, W. A. Propriedades físicas do solo sob preparo convencional e semeadura direta em rotação e sucessão de culturas, comparadas às do campo nativo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 1, p. 155-163, 2004. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832004000100015>
- BERNARDO, S; MANTOVANI, E. C.; SILVA, D. D.; SOARES, A. A. **Manual de irrigação**. 9. ed. Viçosa: Editora UFV, 2019. 545p.
- BRADY, N. C.; WEIL, R. R. **Elementos da natureza e as propriedades dos solos**. 3. ed. São Paulo: Bookman, 2013.
- CARNEIRO, M. A. C.; SOUZA, E. D.; REIS, E. F.; PEREIRA, H. S.; AZEVEDO, W. R. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo de Cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 1, p. 147-157, 2009. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832009000100016>
- CECÍLIO, R. A.; MARTINEZ, M. A.; PRUSKI, F. F.; SILVA, D. D.; ATAÍDE, W. F. Substituição dos parâmetros do modelo de Green-Ampt-Mein-Larson para estimativa da infiltração em alguns solos do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, n. 6, p. 1109-1118, 2007. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832007000500029v>

DAVIS, S. N.; DE WIEST, R. J. **Hydrogeology**. New York: John Wiley & Sons, 1966.

DIECKOW, J.; BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J. **Sistemas Conservacionistas de Preparo do Solo e Implicações no Ciclo do Carbono**. São Carlos, SP: Embrapa Instrumentação Agropecuária, 2004. 17p.

LIMA, W. P. **Hidrologia Florestal Aplicada ao Manejo de Bacias Hidrográficas**. Piracicaba: Esalq/USP, 2008. 245 p.

OLIVEIRA, J. C. M.; REICHARDT, K.; APPOLONI, C. R.; SOUZA, A. D. B.; COSTA A. C. S. Hydraulic conductivity determination of a dark red latosol by gamma attenuation and tensiometry. **Semina: Ciências Exatas e Tecnológicas**, v. 16, n. 4, p. 550-553, 1995. <https://doi.org/10.5433/1679-0375.1995v16n4p550>

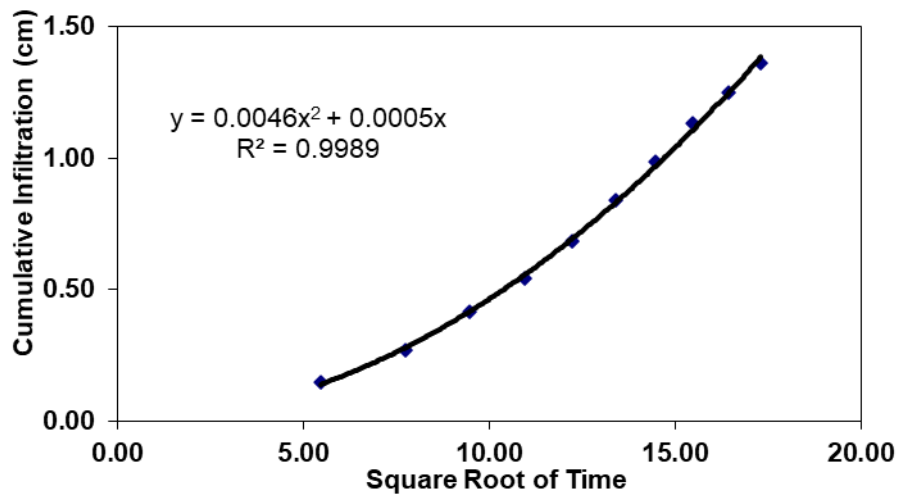
PANACHUKI, E.; BERTOL, I.; SOBRINHO, T. A.; VITORINO, A. C. T.; CARVALHO, D. F.; URCHEI, M. A. Avaliação da infiltração de água no solo, em sistema de integração agricultura-pecuária, com uso de infiltrômetro de aspersão portátil. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 28, n. 1, p. 512-529, 2006.

SALES, L. E. de O.; FERREIRA, M. M.; OLIVEIRA, M. S. de; CURI, N. Estimativa da velocidade de infiltração básica do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 34, n. 11, p. 2091-2095, 1999. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X1999001100016>

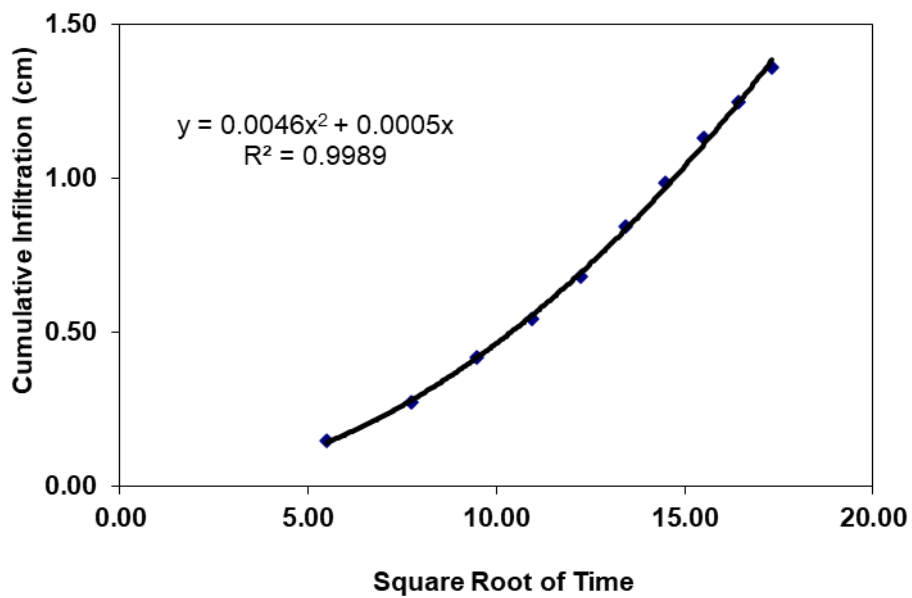
SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; ARAÚJO FILHO, J. C.; OLIVEIRA, J. B.; CUNHA, T. J. F. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5. ed. Brasília: Embrapa, 2018. 356 p.

SILVA, E. M.; AZEVEDO, J. A.; RAUBER, J. C.; REATTO, A. **Caracterização físico-hídrica e hidráulica de solos do bioma Cerrado submetidos a diferentes sistemas de preparo**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2003. 22 p.

ANEXOS

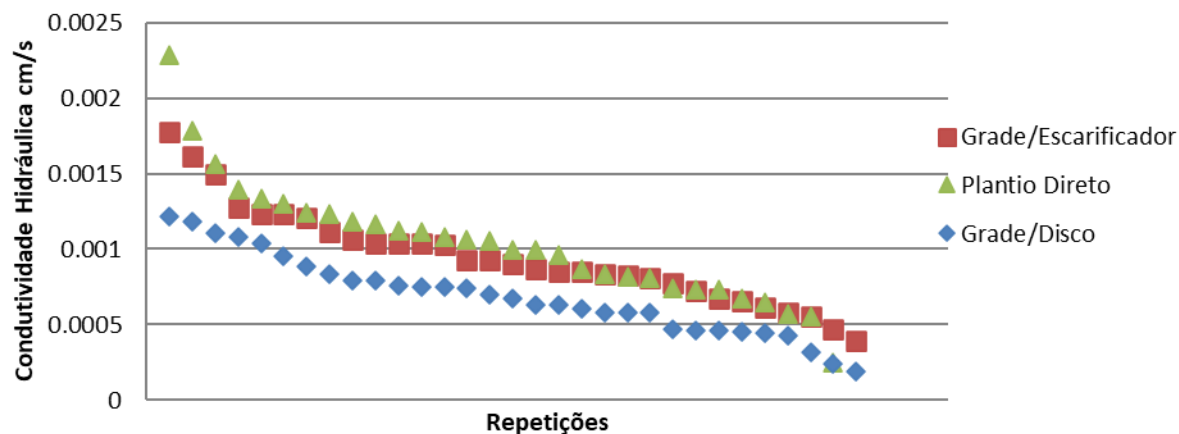


Anexo 1. Curva característica da infiltração de água no solo em razão do tempo para Grade/Escarificador



Anexo 2. Curva característica da infiltração de água no solo em razão do tempo para Grade/Disco.

Variabilidade dos valores de K



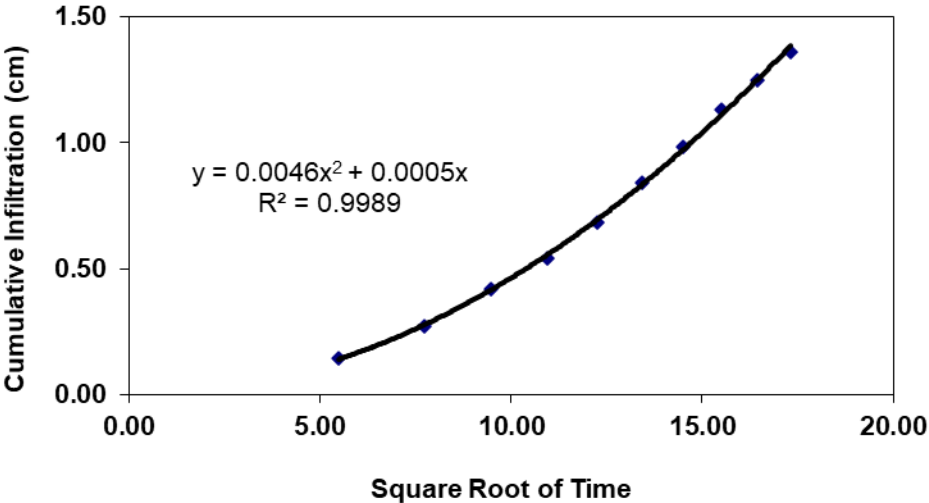
Anexo 3. Variabilidade amostral para os valores de K (cm/s) em Sistema Plantio Direto, cultivo mínimo e preparo convencional.



Anexo 4. Exemplo de Variabilidade nos valores de K (cm/s) dentro de uma área homogênea.(PD) (Preto k até 0,005; Azul k<0,001; Verde K<0,0015; Vermelho k<0,002; Amarelo K>0,0025).

Tratamento	Maior K cm/s	Menor K cm/s	K médio cm/s	
Grade/ Disco	0,001213	0,000192	0,000673	a
Grade/ Escarificador	0,001615	0,000467	0,00092	b
Plantio Direto	0,002285	0,000253	0,001037	b

Anexo 5. Variabilidade dos valores de condutividade hidráulica em Sistema Plantio Direto, cultivo mínimo e preparo convencional.



Anexo 6. Curva característica da infiltração de água no solo em razão do tempo para Sistema Plantio Direto