

2018-12-16

Infiltração da água em solos sob diferente uso

Rodrigues, Eduardo Henrique Ribeiro

Universidade Estadual do Norte do Paraná

RODRIGUES, Eduardo Henrique Ribeiro. Infiltração da água em solos sob diferente uso. Orientador: Luiz Carlos Reis. 2018. 55 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Centro de Ciências Agrárias, Campus Luiz Meneghel, Universidade Estadual do Norte do Paraná, Bandeirantes, 2018.

<https://repositorio.uenp.edu.br/handle/123456789/508>

Baixado de Repositório Institucional UENP



UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE DO PARANÁ
CAMPUS LUIZ MENEGHEL
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS

EDUARDO HENRIQUE RIBEIRO RODRIGUES

INFILTRAÇÃO DA ÁGUA EM SOLOS SOB DIFERENTE USO

BANDEIRANTES, PR, BRASIL

2018

EDUARDO HENRIQUE RIBEIRO RODRIGUES

INFILTRAÇÃO DA ÁGUA EM SOLOS SOB DIFERENTE USO

Dissertação apresentada ao Programa de
Mestrado em Agronomia, da Universidade
Estadual do Norte do Paraná, *Campus* Luiz
Meneghel.

Orientador: Professor Dr. Luiz Carlos Reis

BANDEIRANTES, PR, BRASIL

2018

Ficha catalográfica elaborada pelo autor, através do
Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UENP

R696i Rodrigues, Eduardo Henrique Ribeiro
Infiltração da água em solos sob diferente uso
/ Eduardo Henrique Ribeiro Rodrigues;
orientador Luiz Carlos Reis - Bandeirantes,
2018.
55 p.

Agronomia) - Universidade Estadual do Norte
do Paraná, Centro de Ciências Agrárias,
Programa de Pós Graduação em Agronomia, 2018.

1. Velocidade de infiltração. 2.
Penetrômetro. 3. Porosidade. 4. Cobertura do
solo. I. Reis, Luiz Carlos, orient. II. Título.

EDUARDO HENRIQUE RIBEIRO RODRIGUES

INFILTRAÇÃO DA ÁGUA EM SOLOS SOB DIFERENTE USO

Dissertação apresentada ao Programa de
Mestrado em Agronomia, da Universidade
Estadual do Norte do Paraná, *Campus Luiz
Meneghel*.

COMISSÃO EXAMINADORA:

Professor Dr. Luiz Carlos Reis

UENP

Professora Dr^a. Teresinha Esteves da Silveira Reis

UENP

Professor Dr. Julião Soares de Souza Lima

UFES

Professor Dr. Luiz Carlos Reis

Universidade Estadual do Norte do Paraná,
Campus Luiz Meneghel

DEDICATÓRIA

Aos amigos e familiares que me acompanharam
nessa caminhada, em especial meus pais Adalberto e Sandra
e minha irmã Tatyane, minha base

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a minha família, minha base, meu tudo, os quais nada disso seria possível de ser realizado. Meu muito obrigado a dedicação e ao apoio incondicional ao qual recebi de meus pais Adalberto e Sandra, e de minha irmã a qual sou fã número 1, Tatyane.

Ao Professor Luiz Carlos Reis, que desde o primeiro contato aceitou me orientar nessa jornada, uma pessoa de coração e paciência enormes, o qual me apoio nos momentos difíceis pelo caminho que percorri.

A Professora Teresinha da Silveira Reis pelo auxílio na interpretação dos dados e pelos conselhos dados a mim.

Agradeço também ao Professor Hatiro pelo auxílio e disposição para ajudar a resolver problemas operacionais.

Ao Gilberto do laboratório de solos, pelas análises realizadas e também pelo auxílio na execução do trabalho, de suma importância.

Ao pessoal da secretária do programa, Sônia e Mary, por sempre me receberem bem, e pelo ótimo trabalho que realizaram enquanto estive presente.

A todos os funcionários da UENP que de alguma forma tiveram participação para que esse projeto chegasse ao fim, ao Gilmar da oficina, ao Tião e Luiz tratoristas meus sinceros agradecimentos.

Aos colegas do programa de mestrado, pelas trocas de conhecimentos e pelas conversas e momentos de descontração que tivemos.

A Universidade Estadual do Norte do Paraná, a qual possibilitou minha graduação e a pós-graduação em Agronomia, pelas horas de ensinamentos e estudos, pela estrutura e pelo corpo docente e de funcionário, eternamente serei grato.

A todos os meus amigos, distantes ou não, mas principalmente aos amigos da República Faz-Herdeiros, Gabriel Boiadeiro meu irmão de coração, ao Cirilo, Migorô, Alemão, João Cadela, Gabigol, Formiga, e ao calouro Grilo, sem vocês com certeza não teria chegado até aqui. Aos demais que me apoiaram, João Pestana, Purga e José Renato da pampa, também aos amigos da saudosa República Ama-zonas e República Avacalhando e agregados.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudo.

E a todas as pessoas que contribuíram direta ou indiretamente, do passado e do presente, que me incentivaram e me apoiaram da maneira que puderam para que essa etapa chegasse ao fim.

A TODOS, MUITO OBRIGADO!

Observo a mim mesmo em silêncio porque é nele onde mais e
melhor se diz me ensino a ser mais tolerante, não julgar ninguém e
com isso ser mais feliz.

“Morada – Forfun”

RIBEIRO RODRIGUES, Eduardo Henrique. **Infiltração da água em solos sob diferente uso**. 2018. Dissertação de Mestrado em Agronomia - Universidade Estadual do Norte do Paraná, *Campus Luiz Meneghel, Bandeirantes*, 2018.

RESUMO

Conhecer o processo de infiltração da água no solo torna-se importante para realizar o planejamento agrícola, dimensionamento de irrigação, drenagem e estabelecimento de métodos de conservação do solo. Objetivou-se com esse estudo analisar a infiltração da água em Latossolo Vermelho Eutroférico (LVef) e Nitossolo Vermelho Eutrófico (NVef) sob diferentes usos, sendo área de preservação permanente (APP), semeadura direta (SD) e pastagem (PT) em NVef, integração lavoura floresta (ILF), com cana-de-açúcar (CN) e com café (CF) em LVef. Utilizou-se o infiltrômetro de anéis concêntricos para os testes de infiltração, o qual foram determinadas a velocidade de infiltração básica (VIB) e a infiltração acumulada (I), através dos modelos empíricos de Kostiaikov e Kostiaikov-Lewis, assim como um modelo ajustado. Foram determinados parâmetros físicos, tais como: porosidade total, macro e microporosidade e densidade do solo, determinados a partir de amostras indeformadas do solo. E a partir do penetrômetro de impacto Stolf foram identificadas as camadas com maior resistência mecânica do solo a penetração (RMSP). Em todas as áreas foram realizadas três repetições para os testes de infiltração de água e RMSP, assim como coletadas três amostras indeformadas de solo para cada local de estudo. A APP foi o local onde ocorreu maior VIB ($0,68 \text{ cm m}^{-1}$) e I (157,4 cm), seguida por ILF ($132,6 \text{ cm m}^{-1}$ e 0,61 cm), CF ($80,2 \text{ cm m}^{-1}$ e 0,38 cm) e PT ($77,8 \text{ cm m}^{-1}$ e 0,35 cm). As áreas de SD e CN tiveram menores valores de VIB e I, $11,7 \text{ cm m}^{-1}$ e 0,08 cm e $21,1 \text{ cm m}^{-1}$ e 0,11 cm, respectivamente, onde também foi identificada na superfície (0,0 – 0,10 m) menor valor de macroporosidade (8 % para ambas) e maior RMSP na profundidade de até 0,20 m. APP, PT e CF tiveram maior RMSP a partir dos 0,20 m de profundidade. A infiltração da água no solo e a RMSP estão relacionados com os outros fatores físicos estudados, como porosidade total, macro e microporosidade e densidade do solo.

Palavras-chave: Velocidade de infiltração; Penetrômetro; Porosidade; Cobertura do solo

RIBEIRO RODRIGUES, Eduardo Henrique. **Water infiltration in soils under different use.** 2018. Dissertação de Mestrado em Agronomia - Universidade Estadual do Norte do Paraná, *Campus* Luiz Meneghel, Bandeirantes, 2018.

ABSTRACT

Knowing the process of infiltration of water into the soil becomes important to carry out the agricultural planning, irrigation sizing, drainage and establishment of methods of soil conservation. The objective of this study was to analyze the infiltration of water in Eutrophic Red Latosol (LVef) and Eutrophic Red Nitosol (NVef) under different uses, being a permanent preservation area (PPA), direct seeding (DS) and pasture (PT), sugarcane area (SC) and coffee area (CF) in LVef. The infiltration of concentric rings was used for the infiltration tests, which determined the infiltration rate (IR) and accumulated infiltration (I) through the empirical models of Kostiakov and Kostiakov-Lewis as well as an adjusted model. Physical parameters, such as total porosity, macro and microporosity, and soil density, determined from undisturbed soil samples were determined. And from the Stolf impact penetrometer we identified the soil layers with the highest soil mechanical resistance to penetration (MRP). In all areas, three replications were performed for the water infiltration tests, as well as three undisturbed soil samples collected and the MRP analyzed in three replicates. PPA was the site where the highest IR (0.68 cm m^{-1}) and I (157.4 cm) occurred, followed by PT (132.6 cm m^{-1} and 0.61 cm), CF (80.2 cm^{-1} and 0.38 cm) and DS (77.8 cm m^{-1} and 0.35 cm). The areas of DS and SC had lower values of IR and I, 11.7 cm m^{-1} and 0.08 cm and 21.1 cm m^{-1} and 0.11 cm respectively, where it was also identified on the surface (0, 0 - 0.10 m) lower macroporosity value (8% for both) and higher MRP in the depth of up to 0.20 m. PPA, PT and CF had higher AMSY from the 0.20 m depth. The infiltration of water into the soil and the MRP are related to the other physical factors studied.

Key-words: Infiltration rate; Penetrometer; Porosity; Soil cover

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	1
2.	REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1	INFILTRAÇÃO DA ÁGUA NO SOLO	3
2.2	PROPRIEDADES FÍSICAS DO SOLO.....	5
2.3	RESISTÊNCIA MECÂNICA DO SOLO A PENETRAÇÃO.....	7
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	8
3.	OBJETIVOS.....	14
3.1	OBJETIVO GERAL	14
3.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	14
4.	ARTIGO: INFILTRAÇÃO DA ÁGUA EM SOLOS SOB DIFERENTES USOS....	15
4.1	RESUMO E ABSTRACT	15
4.1.1	RESUMO.....	15
4.1.2.	ARTICLE: WATER INFILTRATION IN SOILS UNDER DIFFERENT USE	16
4.1.3	ABSTRACT	16
4.3	MATERIAL E MÉTODOS	18
4.3.1	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	18
4.1.1	Latossolo vermelho Eutroférico - LVef	18
4.1.2	Nitossolo Vermelho Eutrófico - NVef	19
4.1.3	Localização das áreas	20
4.2	ANÁLISES REALIZADAS.....	22
4.2.1	Resistência mecânica do solo a penetração	22
4.2.2	Infiltração de água.....	22
4.2.3	Porosidade total, macro e microporosidade.....	25
4.2.4	Análise estatística.....	26
4.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	26
4.3.1	DESEMPENHO DAS EQUAÇÕES DE INFILTRAÇÃO.....	26
4.3.2	Comportamento das áreas estudadas frente ao ensaio de infiltração	26
4.3.3	Propriedades do solo que influenciam o ensaio de infiltração.....	36
4.4	CONCLUSÕES	42
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	43

1. INTRODUÇÃO

Conhecer o processo de infiltração da água no solo é importante quando se tem a necessidade de realizar o planejamento da produção agrícola, assim como dimensionamento de sistemas de irrigação, drenagem, bem como quando se deseja estabelecer métodos de conservação do solo (BONO et al., 2012; TOMASINI et al., 2010; ZONTA et al., 2012) De acordo com Reichardt et al. (1996) esse processo determina em diversas ocasiões o balanço de água na zona das raízes e, também, o escoamento superficial, responsável pela causa de erosão durante precipitações pluviais.

O processo de erosão do solo de certa forma, tem relação direta com a escassez de alimentos, a erosão reduz a capacidade de produção o que impacta diretamente na elevação dos custos referentes aos produtos agropecuários, elevando a necessidade de uso de corretivos, fertilizantes, assim, como também reduz a eficiência operacional (CARVALHO et al., 2012).

Torna-se importante a compreensão de que para a avaliação da sustentabilidade de um sistema de manejo de solo uma das principais premissas é a de que ele mantenha suas propriedades físico-químicas-biológicas o mais próximo possível das condições originais, na maior parte das vezes, sob cobertura de matas ou outros tipos de coberturas vegetais (LLANILLO et al., 2006).

A cobertura do solo a partir de resíduos de culturas é muito importante quando se busca reduzir os efeitos do escoamento superficial e, conseqüentemente, da erosão hídrica, pois esses resíduos influenciam no aumento da infiltração da água no solo, e também servem como incremento de matéria orgânica no solo, aumentando a atividade biológica, conservando a umidade e temperatura do solo em níveis ideais (DERPSCH et al., 2014).

Entretanto, no Brasil, apesar de nos últimos anos grande parte das propriedades rurais terem adotados sistemas de manejo conservacionistas, como o sistema de semeadura direta (PANACHUKI et al., 2010), não são adotadas com frequência em culturas que produzam resíduos suficientes para permitir a cobertura do solo. Por uma questão de lucratividade acabam adotando a sucessão de lavouras, ou culturas com baixo potencial de gerar resíduos para a cobertura do solo (MERTEN et al. 2015).

Mesmo com o aumento de práticas conservacionistas, a infiltração da água no solo ainda é pouco estudada no que tange os diferentes usos e manejos de solo (OLIVEIRA et al., 2015). Sendo o processo de infiltração da água não só dependente das características de cobertura, mas também de características físicas, estruturais e da qualidade do solo e do seu uso.

Para Doran e Parkin, (1994), monitorar a qualidade do solo pelas características físicas é importante para a manutenção e avaliação da sustentabilidade dos sistemas agrícolas, propiciando melhor qualidade dos produtos agrícolas, mecanização do solo, assim como ambiente sadio, diminuindo sua degradação. Segundo os mesmos, a qualidade do solo é definida como a capacidade em manter uma produtividade sustentável, melhorando o ambiente, a planta, o animal e o homem.

Dentre os atributos do solo para avaliar a sua qualidade em relação a erosão hídrica, Karlen e Stott (1994) destacaram: teores de matéria orgânica, densidade do solo, porosidade, resistência mecânica do solo a penetração e permeabilidade do solo à água. Segundo Aguiar (2008), a estrutura pode ser avaliada também pela infiltração da água no solo. Já para Reinert et al. (2006), a estrutura é avaliada pelos atributos que lhe dão forma, isto é, densidade do solo; geometria, tamanho e continuidade de poros; infiltração; retenção de água e aeração.

A resistência do solo a penetração está estreitamente associada a densidade do solo e, para o mesmo teor de água, assim a resistência do solo a penetração é maior quanto maior a densidade do solo (DRESCHER, 2011). A determinação da resistência do solo a penetração é realizada mediante a resistência que o solo oferece à penetração de um instrumento de sondagem (penetrômetro) chamado de “índice de cone” (BORGES et al. 2004). Tal índice depende de atributos do solo, como textura, porosidade, estrutura, estabilidade de agregados e teor de água (CAMARGO; ALLEONI, 1997).

Todos esses fatores são interdependentes e afetam diretamente a infiltração de água no solo. Com o exposto, objetivou-se com esse trabalho analisar a infiltração da água em Latossolo Vermelho Eutroférico e Nitossolo Vermelho Eutrófico submetidos a diferentes usos, como semeadura direta, integração lavoura-floresta, pastagem, área com café, com cana-de-açúcar e área em regeneração natural, bem como, avaliar os parâmetros físicos de resistência mecânica do solo a penetração, a porosidade, a macro e microporosidade.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 INFILTRAÇÃO DA ÁGUA NO SOLO

A infiltração da água no solo é definida como o processo de entrada ou penetração de água no perfil do solo a partir de sua superfície (BRANDÃO et al., 2006). Inicialmente o valor de infiltração da água é elevado, com o passar do tempo a velocidade de infiltração tende a diminuir e assumir um valor constante, momento em que o solo fica saturado, definido como velocidade de infiltração básica (VIB) (POTT; DE MARIA, 2003; ALVES SOBRINHO et al., 2003).

Além da VIB, o processo pode ser expresso como capacidade de infiltração, que é o valor final constante da taxa de entrada de água no solo. (BERTOL et al., 2015; CARVALHO et al., 2012) Pinheiro et al. (2009) enfatizam que a VIB é a principal característica hídrica para a descrição da água no solo e seu conhecimento é de grande importância para definir procedimentos de manejo e conservação do solo e da água, dimensionar e planejar sistemas de irrigação e drenagem, bem como avaliar a quantidade de água que efetivamente infiltra no solo e o escoamento superficial.

A infiltração é um processo complexo que depende de um grande número de fatores que podem influenciar, tais como: porosidade, densidade do solo (BONO et al., 2012), preparo e cobertura do solo, textura, selamento superficial, umidade inicial, teor de matéria orgânica, (POTT e DE MARIA, 2003) quantidade de carbono orgânico, tamanho e nível de estabilidade dos agregados (DE ALMEIDA et al., 2018), temperatura, composições químicas e físicas do solo, e fatores adicionais relacionados a atividades biológicas e microbiológicas (ASSOULINE, 2013).

Sendo assim, a análise destes parâmetros geralmente está correlacionada, ou seja, a alteração de um é perceptível nos demais. Isso pode ser dito sobretudo para a velocidade de infiltração, a qual pode reduzir significativamente com adensamento e a compactação do solo ou quando verificado o aumento de resistência a penetração do mesmo.

A determinação da VIB, tem como essência, o princípio de todas as técnicas que se baseia em aplicar uma certa quantidade de água sobre a superfície do solo e medir o tempo necessário para que este a absorva. Os métodos para se determinar esses valores apresentam variações, mas continuam sendo clássicos os infiltrômetros de anéis simples ou de anéis concêntricos, infiltrômetros de aspersão ou simuladores de chuva, os permeômetros, os infiltrômetros de tensão ou permeômetros de disco, e os infiltrômetros de pressão (LILI et al., 2008; POTT; DE MARIA, 2003) com uma carga hidráulica constante (MORETTI FILHO e MANFRINATO, 1965), uma

vez que favorecem a obtenção da taxa máxima de infiltração de água no solo (COSTA et al., 1999).

Porém esses métodos de determinação podem ser comprometidos devido a falhas na condução dos experimentos e também a alta variabilidade espacial e temporal (VAN ES, 1993). Os métodos de determinações em laboratório têm como vantagem maior flexibilidade para as condições iniciais e de contorno, entretanto podem não representar valores representativos das condições de campo (WESSOLEK et al., 1994).

A título ilustrativo das variações que podem ser observadas quando são utilizadas diferentes técnicas, Zwirtes et al. (2013), ao analisarem valores de taxa de infiltração de água (TI) em solos por meio de infiltrômetro de anéis concêntricos e infiltrômetro de Cornell, encontraram uma TI significativamente maior pelo infiltrômetro de anéis concêntricos, sobretudo para situações de mata nativa. Pott e De Maria (2003) também observaram, por meio de diferentes técnicas, diferença significativa entre os valores obtidos de VIB. Deste modo, fica evidenciada que a comparação direta de valores obtidos precisa levar em consideração sempre a técnica utilizada.

As atividades de uso exercem significativa influência sobre a infiltração e o homem pode, assim, modificar a capacidade de infiltração dos solos pelo manejo (REICHARDT, 1996). Os diferentes tipos de manejo e de cultivo do solo podem alterar as propriedades físicas destes, manifestando-se de várias maneiras. O solo cultivado com o tempo tende em ter sua estrutura original alterada pelo fracionamento dos agregados, reduzindo o volume de macroporos e aumentando o volume de microporos e densidade do solo (BERTOL et al. 2001). Em decorrência disso, observou-se diminuição na taxa de infiltração de água no solo, aumentando a taxa de escoamento superficial.

Assim, sistemas de manejo que promovam pequena ou nenhuma movimentação mecânica do solo, manutenção de maior parte dos resíduos culturais sobre a superfície e elevação da rugosidade superficial são mais eficazes do que os não conservacionistas no controle das perdas de solo e água por erosão (BEUTLER et al., 2003).

De maneira isolada, a presença da cobertura do solo por resíduos vegetais é o fator mais importante na dissipação da energia de impacto das gotas da chuva na superfície do solo, visto que ela pode evitar a desagregação de suas partículas. Além disso, resíduos vegetais em contato direto com a superfície do solo são eficazes na redução da carga de sedimentos no escoamento superficial ou enxurrada (BERTOL et al., 2007).

Avaliando modelos para a previsão de água em solos sob cerrado, Silva & Kato (1998) obtiveram valores de taxa de infiltração estável em média de 61,3 mm h⁻¹ em solo desprovido de cobertura vegetal e 76,3 mm h⁻¹ em solo com cobertura morta. Isso evidencia a importante função

desempenhada pela cobertura vegetal no favorecimento da elevação da taxa de infiltração de água no solo. Albuquerque et al. (2002) verificaram que parcelas com cobertura morta reduziram as perdas de solo e água em 99 e 74 %, respectivamente, em relação às parcelas sem cobertura do solo.

Nesse sentido, diversos estudos têm sido realizados com o intuito de avaliar como as diferentes formas de manejo têm influenciado no processo de perda de solo e de água (CASSOL; LIMA; 2003; MELLO et al., 2003; VOLK et al., 2004; CARVALHO et al., 2009). Mello et al. (2003) verificaram que o cultivo mínimo reduziu as perdas de solo em 85 % e as de água em 34 % em relação ao preparo de solo com arado e grade, durante o cultivo da soja. Já Bertol et al. (2001) verificaram redução de infiltração de água no solo sob pastagens compactadas pelo pisoteio animal em relação ao solo com vegetação natural, atribuída ao aumento da densidade e redução da macroporosidade do solo.

Num estudo analisando as perdas de solo e água submetido a diferentes sistemas de preparo e cultivo sob precipitação pluvial, com relação ao preparo mecanizado do solo, observou-se que a semeadura direta, tanto envolvendo rotação de culturas no inverno e verão quanto envolvendo rotação de preparos, é mais eficaz no controle das perdas de solo e de água do que o preparo convencional com grade aradora, cultivo mínimo com escarificador, rotação de ferramentas de preparos e semeadura direta, (BEUTLER et al. 2003).

2.2 PROPRIEDADES FÍSICAS DO SOLO

A qualidade física do solo descreve como o solo permite a infiltração, retenção e disponibilidade de água às plantas, córregos e subsuperfície, responde ao manejo e resiste à degradação, permite as trocas de calor e de gases com a atmosfera e raízes das plantas, e permite o crescimento das raízes (REICHERT et al., 2003).

A estrutura do solo é um dos indicadores mais importantes para o crescimento das plantas, uma vez que influi diretamente nas condições de adensamento, compactação, encrostamento, infiltração de água e suscetibilidade à erosão, pode ser avaliada por meio da densidade do solo, porosidade, total estabilidade dos agregados, resistência mecânica do solo a penetração e infiltração de água (CAMPOS et al., 1995).

A densidade e a porosidade são propriedades relacionadas com alterações no volume do solo e, dessa forma, altamente relacionadas com a compactação do solo (REICHERT et al., 2007). A densidade do solo (D_s) denominada também de densidade aparente ou densidade global é a

relação entre a massa de sólidos seco e a soma dos volumes ocupados pela parte sólida e pelo ar. De uma maneira geral, quanto maior for a D_s maior será a sua compactação, pior será sua estrutura, menor será sua porosidade total e, conseqüentemente, maiores serão as dificuldades para o crescimento do sistema radicular das plantas (KIEHL, 1979; FERREIRA, 1986). Segundo Kiehl (1979) a D_s de solos argilosos está nos limites entre 1,00 a 1,25 kg dm⁻³, já para Torres e Saraiva (1999) esses limites da D_s variam de acordo com características mineralógicas, que para solos argilosos em condições de campo, próximo das condições naturais e ricos em matéria orgânica vão desde 1,00, até 1,45 kg dm⁻³ para solos mal manejados e compactados.

Algumas mudanças negativas que podem ocorrer nas propriedades físicas do solo incluem: aumento na densidade do solo; decréscimo no volume de macroporos; infiltração e movimento interno de água mais lentos; aeração mais pobre e maior resistência mecânica do solo ao crescimento de raízes, ocorrendo ainda alteração no fluxo de calor e de nutrientes na camada compactada (CAMARGO, 1983; PRIMAVERSI, 1983; COSTA, 1990; RAB, 1996; OLIVEIRA et al., 1998).

Segundo Hillel, (1980) a relação entre D_s e porosidade é inversa, por exemplo em mesmo solo quando acontece o aumento da D_s acaba por ocasionar a diminuição dos espaços porosos. A porosidade total representa o volume total de poros, mas não fornece informações sobre a distribuição dessa porosidade. Para melhor caracterizar a porosidade total, faz-se a divisão em classes conforme os tamanhos dos poros, sendo a mais frequente a classificação em macroporos e microporos. A classe dos macroporos corresponde aos poros esvaziados à tensão de 0,0006 MPa, e com diâmetro maior que 0,05 mm (RICHARDS, 1965). Os macroporos estão situados nos espaços inter agregados e são responsáveis pelas trocas gasosas com a atmosfera e pela infiltração de água, e é onde ocorre o crescimento radicular das plantas. Já os microporos tem diâmetro menor que 0,05 mm e são capilares intra agregados, sendo responsáveis pela retenção da água no solo, e quanto menor for o diâmetro, maior a força de retenção da água (HILLEL, 1980).

Atributos do solo como densidade do solo, porosidade total, faixa ótima de água, estabilidade de agregados, resistência do solo à penetração têm sido utilizados como indicadores de qualidade física por serem modificados pelo uso e manejo do solo, além de serem de fácil determinação e custo reduzido (STEFANOSKI et al., 2013).

2.3 RESISTÊNCIA MECÂNICA DO SOLO A PENETRAÇÃO

A resistência mecânica do solo a penetração (RMSP) quantifica a resistência oferecida pelo solo ao crescimento radicular das plantas, ou então a introdução da ponteira em forma de cone de um penetrômetro (SILVA et al., 2002). É utilizada para avaliação dos efeitos de manejo do solo sobre o ambiente radicular (TORMENA; ROLOFF, 1996).

O aumento da RMSP resulta em deformações e restrições ao crescimento normal das raízes, induzindo à deficiência hídrica, ocasionada pela limitação que apresentam para explorar camadas mais profundas de solo como maior disponibilidade de água (KEMPER; DERPSCH, 1981; KLEIN; BOLLER, 1995).

A RMSP é altamente influenciada com o teor de água (PASCHOALIN FILHO; CARVALHO, 2002) e densidade do solo (CUNHA et al., 2002; GENRO JUNIOR et al., 2004). A RMSP aumenta exponencialmente com a diminuição da umidade pelo fato de que com a sua diminuição há o aumento das forças de coesão das partículas do solo, devido à concentração dos agentes cimentantes (óxido de ferro, óxido de cálcio, matéria orgânica, exsudação dos microorganismos do solo, etc.), como também devido à redução do efeito lubrificante da água (SILVA et al., 2002). Tormena et al. (1998), ao analisar a resistência à penetração de um Latossolo Roxo sob semeadura direta e convencional, verificaram que, quanto menor a umidade volumétrica do solo, maior a resistência à penetração, cujo fato eles atribuíram ao menor efeito lubrificante da água ao redor das partículas em solos com menor teor de umidade.

O valor de RMSP de 2,0 MPa tem sido o mais indicado na literatura como impeditivo ao desenvolvimento do sistema radicular da maioria das culturas (TAYLOR et al., 1966; TORMENA et al., 1998, 1999). Diversas tentativas tem sido realizadas para determinar valores críticos de RMSP, assim, diversos autores verificaram que a resistência à penetração crítica ao desenvolvimento de raízes de diversas plantas situa-se entre 1 MPa e 3,5 MPa (GERARD et al., 1982; MEROTTO; MUNDSTOCK, 1999).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGUIAR, M. I. **Qualidade física do solo em sistemas agroflorestais**. Dissertação Mestrado Viçosa: UFV. p. 91. 2008
- ALBUQUERQUE, A.W.; LOMBARDI NETO, F.; SRINIVASAN, V.S. & SANTOS, J.R. **Manejo da cobertura do solo e de práticas conservacionistas nas perdas de solo e água em Sumé, PB**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 6 p. 136-141, 2002.
- ALVES SOBRINHO, T.; VITORINO, A.C.T.; SOUZA, L.V.C.F.; GONÇALVES, M.C.; CARVALHO, D.F. **Infiltração de água no solo em sistemas de plantio direto e convencional**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 7, n. 2, p. 191–196, 2003.
- ASSOULINE, S. **Infiltration into soils: Conceptual approaches and solutions**. Water Resources Research, v. 49, n. 4, p. 1755–1772, 2013.
- BERTOL, I.; BEUTLER, J.F.; LEITE D. & BATISTELA, O. **Propriedades físicas de um Cambissolo Húmico afetadas pelo tipo de manejo do solo**. Scientia Agrícola, v. 58 p.555-560, 2001.
- BERTOL, O.J.; RIZZI, N.E.; BERTOL, I. & ROLOFF, G. **Perdas de solo e água e qualidade do escoamento superficial associadas à erosão entre sulcos em área cultivada sob semeadura direta e submetida às adubações mineral e orgânica**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 31 p. 781-792, 2007.
- BERTOL, I.; BARBOSA, F. A.; BERTOL, C.; LUCIANO, R.V. **Water Infiltration in Two Cultivated Soils in Southern Brazil**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 39, n. 2, p. 573–588, 2015.
- BEUTLER, J.F.; BERTOL, I.; VEIGA, M. & WILDNER, L.P. **Perdas de solo e água num Latossolo Vermelho aluminoférrico submetido a diferentes sistemas de preparo e cultivo sob chuva natural**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 27 p. 509-517, 2003.
- BONO, J. A. M.; MACEDO, M. C. M; TORMENA, C. A.; NANNI, M. A.; GOMES, E. P.; MULLER, M. M. L. . **Infiltração De Água No Solo Em Um Latossolo Vermelho Da Região Sudoeste Dos Cerrados Com Diferentes Sistemas De Uso E Manejo**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 36, n. 1, p. 1845–1853, 2012.

- BORGES, J. R. et al. **Resistência à penetração de um gleissolo submetido a sistemas de cultivo e culturas.** Revista Brasileira de Agrociência, Pelotas, v. 10, n. 1, p. 83-86, jan./mar., 2004.
- BRANDÃO, V. S.; DAVID, D.; RUIZ, H. A.; PRUSKI, F. F.; SCHAEFER, C. E. G. R.; MARTINEZ, M. A.; DA COSTA DE MENEZES, S. J. M. . **Resistência hidráulica da crosta formada em solos submetidos a chuvas simuladas.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 30, n. 1, p. 13–21, 2006.
- CAMARGO, O.A. **Compactação do solo e desenvolvimento de plantas.** Campinas, Fundação Cargill, p. 44, 1983.
- CAMARGO, O.A.; ALLEONI, L.R.F. **Compactação do solo e o desenvolvimento das plantas.** Piracicaba: ESALQ, p. 132. 1997.
- CAMPOS, B.C.; REINERT, D.J.; NICOLODI, R.; RUEDELL, J.; PETRERE, C. **Estabilidade estrutural de um Latossolo Vermelho-Escuro distrófico após sete anos de rotação de culturas e sistemas de manejo de solo.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 19 p. 121-126, 1995.
- CARVALHO, D.F.; CRUZ, E.S.; PINTO, M.F.; SILVA, L.D.B. & GUERRA, J.G.M. **Características da chuva e perdas por erosão sob diferentes práticas de manejo do solo.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental., v. 13, p. 3-9, 2009.
- CARVALHO, M. A. R. DE.; MIRANDA, J. H. DE.; DUARTE, S. N.; CARVALHO, L. C. C. **.Escoamento superficial na interação: cobertura vegetal e práticas de controle de erosão.** Engenharia Agrícola, v. 32, n. 6, p. 1116–1125, 2012.
- CASSOL, E.A. & LIMA, V.L. **Erosão em entre sulcos sob diferentes tipos de preparo e manejo do solo.** Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 38 p. 117-124, 2003.
- COSTA, L.M. **Manejo de solos em áreas reflorestadas.** In: BARROS, N.F. e NOVAIS, R.F., eds. Relação solo-eucalipto. Viçosa, Folha de Viçosa, p. 237-264, 1990.
- CUNHA, J. P. A. R.; VIEIRA, L. B.; MAGALHAES, A. C. **Resistência mecânica do solo à penetração sob diferentes densidades e teores de água.** Engenharia na Agricultura, v. 10, n. 1-4, Jan./Dez., 2002
- DE ALMEIDA, W. S.; PANACHUKI, E.; DE OLIVEIRA, P. T. S.; DA SILVA MENEZES, R.; ALVES SOBRINHO, T.; DE CARVALHO, D. F. . **Effect of soil tillage and vegetal cover on soil water infiltration.** Soil and Tillage Research, v. 175, n. September 2017, p. 130–138, 2018.

DERPSCH, R., FRANZLUEBBERS, A.J., DUIKER, S.W., REICOSKY, D.C., KOELLER, K., FRIEDRICH, T., STURNY, W.G., SÁ, J.C.M., WEISS, K. **Why do we need to standardize no-tillage research?** Soil Tillage Res. 137, 16–22. 2014.

DORAN, J.W. & PARKIN, T.B. **Defining and assessing soil quality.** In: DORAN, J.W.; COLEMAN, D.C.; BEZDICEK, D.F. & STEWART, B.A. Defining soil quality for a sustainable environment. Madison, Soil Science Society of America, p. 3-21 (SSSA Special Publication, 35) 1994.

DRESCHER, M. **Efeito Residual De Intervenções Mecânicas Para Descompactação Do Solo Manejado Sob Sistema Plantio Direto.** Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - UFSM, Rio Grande do Sul, p. 81. 2011.

FERREIRA, M. M. **Física do solo.** Lavras: FAEPE, p. 63, 1986.

GENRO JUNIOR, S. A.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. **Variabilidade temporal da resistência a penetração de um Latossolo argiloso sob semeadura direta com rotação de culturas.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v. 28, p. 477-484, 2004

GERARD, C.J.; SEXTON, P.; SHAW, G. **Physical factors influencing soil strength and root growth.** Agronomy Journal, Madison, v.74, p.875-879, 1982.

HILLEL, D. **Fundamentals of soil physics.** New York, Academic Press. p. 413, 1980.

KARLEN, D.L. & STOTT, D.E. **A framework for evaluating physical and chemical indicators of soil quality.** In: DORAN, J.W.; COLEMAN, D.C.; BEZDICEK, D.F. & STEWART, B.A., eds. Defining soil quality for a sustainable environment. Madison, Soil Science Society of America, p.53-72 (SSSA Special Publication, 35), 1994.

KEMPER, B.; DERPSCH, R. In: RUSSEL, R.S. et al. (ed.). **The soil/root system in relation to Brazilian agriculture.** Londrina: IAPAR, p. 81-101. 1981.

KIEHL, A. J. **Manual de edafologia: relações solo-planta.** São Paulo: Ceres, p. 262, 1979.

KLEIN, V.A.; BOLLER, W. **Avaliação de diferentes métodos de manejos de solo e métodos de semeadura em áreas sob plantio direto.** Ciência Rural, Santa Maria, v.25, p.395-398, set. - dez., 1995.

LILI, M.; BRALTS, V. F.; YINGHUA, P.; HAN, L.; TINGWU, L. **Methods for measuring soil infiltration: State of the art.** International Journal of Agricultural and Biological Engineering, Beijing, v.1, n.1, p.22-30, 2008

- LLANILLO, R.F.; RICHART, A.; TAVARES FILHO, J.; GUIMARÃES, M.F.; FERREIRA, R.R.M. **Evolução de propriedades físicas do solo em função dos sistemas de manejo em culturas anuais**. Semina: Ciências Agrárias, Londrina, v. 27, n. 2, p. 205 - 220, 2006.
- MELLO, E.L.; BERTOL, I.; ZAPAROLLI, V. & CARRAFA, M.R. **Perdas de solo e água em diferentes sistemas de manejo de um nitossolo háplico submetido à chuva simulada**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 27 p. 901-909, 2003
- MEROTTO Jr. A.; MUNDSTOCK, C.M. **Wheat root growth as affected by soil strength**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v. 23, n.2, p. 197-202, mar./abr., 1999
- MERTEN, G.H., ARAÚJO, A.G., BISCAIA, R.C.M., BARBOSA, G.M.C., CONTE, O. **No-till surface runoff and soil losses in southern Brazil**. Soil Tillage Res. 152, 85–93. 2015.
- MORETTI FILHO, J.; MANFRINATO, H. A. **Determinação da capacidade de infiltração do solo para fins de irrigação por aspersão**. *Anais Escola Superior d Agricultura Luiz de Queiroz* [online]., v. 22, p. 37-52, 1965
- OLIVEIRA, C.V. ; BAHIA, V.G.; PAULA, M.B. **Compactação do solo devido à mecanização florestal: causas, efeitos e práticas de controle**. Informe Agropec., 191 p. 46-48, 1998.
- OLIVEIRA, P.T.S., WENDLAND, E., NEARING, M.A., SCOTT, R.L., ROSOLEM, R., ROCHA, H.R.; **The water balance components of undisturbed tropical woodlands in the Brazilian Cerrado**. Hydrology Earth System Science. V. 19 p. 2899–2910. 2015.
- PANACHUKI, E., BERTOL, I., ALVES SOBRINHO, T., VITORINO, A.C.T., SOUZA, C.M.A., URCHEI, M.A.; **Rugosidade da superfície do solo sob diferentes sistemas de manejo e influenciada por chuva artificial**. Revista Brasileira de Ciências do Solo v. 34 p. 443–451. 2010
- PASCHOALIN FILHO, J. A.; CARVALHO, D. **Estudo da resistência de um solo residual compactado em três diferentes umidades**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 31., 2002, Salvador, **Anais...** Salvador: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2002
- POTT, C.A.; I.C. DE MARIA. **Comparação de métodos de campo para determinação da velocidade de infiltração básica**. Revista Brasileira de Ciências do Solo, v. 27, p. 19 - 27, 2003
- PRIMAVERSI, O. M.A.S.P.R.B. **Nutrição mineral de feijoeiro (Phaseolus vulgaris L.) em dois solos sujeitos à compactação**. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”/USP, p.142. 1983.(Tese de Mestrado)

RAB, M.A. **Soil physical and hydrological properties following logging and slash burning in the Eucalyptus regnans forest of southeastern Australia.** For. Ecol. Manage., v. 84 p. 159-176, 1996.

REICHARDT, K. **Dinâmica da matéria e da energia em ecossistemas.** 2 ed. Piracicaba, ESALQ, 1996. p. 317-352

REICHERT, J.M.; REINERT D.J. BRAIDA, J.A. **Manejo, qualidade do solo e sustentabilidade: condições físicas do solo agrícola.** Congresso Brasileiro De Ciência Do Solo, 29, Ribeirão Preto. Palestras. Ribeirão Preto: SBCS, 2003.

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

REINERT, D. J.; REICHERT, D. J.; VEIGA, M.; SUZUKI, L. E. A. S. **Qualidade física dos solos.** In: Reunião Brasileira de Manejo e Conservação do Solo e da Água, 16, 2006. Aracaju, Resumos... Aracaju: SBCS, 2006.

RICHARDS, L.A. **Physical conditions of water in soil.** In: BLACK, C.A., ed. Methods of soil analysis. Part 1. Madison, American Society for Testing and Materials. p. 770p. 1965

SILVA, L.C. & KATO, E. **Avaliação de modelos para a previsão da infiltração de água em solos sob cerrado.** Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 33 p. 1149-1158, 1998.

SILVA, A. P. DA.; IMHOFF, S. DEL C.; TORMENA, C. A.; LEÃO, T. P. **Avaliação da compactação de solos florestais.** IN: GONÇALVES, J. L. de M.; STAPE, J. L. Conservação e cultivo de solos para plantações florestais. Piracicaba: IPEF, p. 352-372, 2002.

STEFANOSKI, D. C.; SANTOS, G. G.; MARCHÃO, R. L.; PETTER, F. A.; PACHECO, L. P. **Uso e manejo do solo e seus impactos sobre a qualidade física.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.17, p.1301-1309, 2013.

TOMASINI, B. A.; VITORINO, A. C. T.; GARBIATE, M. V.; SOUZA, C. M. A.; ALVES SOBRINHO, T. **Infiltração de água no solo em áreas cultivadas com cana-de-açúcar sob diferentes sistemas de colheita e modelos de ajustes de equações de infiltração.** Engenharia Agrícola, v. 30, n. 6, p. 1060–1070, 2010.

TORMENA et al. **Densidade, porosidade e resistência à penetração em latossolo cultivado sob diferentes sistemas de preparo do solo.** Scientia Agrícola, v. 59, n. 4, p. 795 - 801, 2002.

- TORMENA, C. A.; ROLOFF, G. **Dinâmica da resistência à penetração de um solo sob plantio direto**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, v. 20, p. 333 - 339, 1996.
- TORMENA, C.A.; ROLOFF, G.; SÁ, J.C.M. **Propriedades físicas do solo sob plantio direto influenciadas por calagem, preparo inicial e tráfego**. Revista Brasileira de Ciências do Solo, v. 22, p. 301 - 309, 1998
- VAN ES, H. M. **Evaluation of temporal, spatial, and tillageinduced variability for parameterization of soil infiltration**, Geoderma, Amsterdam, v. 60, p. 187-199, 1993.
- VOLK, L.B.S.; COGO, N.P. & STRECK, E.V. **Erosão hídrica influenciada por condições físicas de superfície e subsuperfície do solo resultantes do seu manejo, na ausência de cobertura vegetal**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 28 p. 763-774, 2004.
- WANG, D.; YATES, S. R.; ERNST, F. F. **Determining soil hydraulic properties using tension infiltrometers, time domain reflectometry, and tensiometers**. Soil Science Society of America, Madison, v. 62, n. 2, p. 318 - 325, 1998.
- WESSOLEK, G.; PLAGGE, R.; LEIJ, F.J.; GENUCHTEN, M.T. **Analysing problems in describing field and laboratory measured soil hydraulic properties**. Geoderma, Amsterdam, v. 64, p. 93-110, 1994.
- ZONTA, J. H.; MARTINEZ, M. A.; PRUSKI, F. F.; DA SILVA, D. D.; DOS SANTOS, M.R. **Efeito da Aplicação Sucessiva de Precipitações pluviais com Diferentes Perfis na Taxa de Infiltração de Água no Solo**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 36, n. 2, p. 377-388, 2012.
- ZWIRTES, A.L. et al. **Utilização do infiltrômetro de cornell e dos anéis concêntricos para determinação da infiltração de água em um Latossolo Vermelho**. Semina: Ciências Agrárias, Londrina, v. 34, n. 6, suplemento 1, p. 3489 - 3500, 2013.

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GERAL

Objetivou-se avaliar se os diferentes usos do solo influenciam na velocidade e capacidade de infiltração de água.

3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

Determinar a velocidade e capacidade de infiltração de água no solo, por meio do Infiltrômetro de Anéis Concêntricos.

Determinar a RMSP, com uso do Penetrômetro de Impacto de Stolf.

Determinar a porosidade total, a macroporosidade e a microporosidade, D_s , analisadas através de amostras indeformadas do solo.

4. ARTIGO: INFILTRAÇÃO DA ÁGUA EM SOLOS SOB DIFERENTES USOS

4.1 RESUMO E ABSTRACT

4.1.1 RESUMO

Diversos são os fatores que influenciam na dinâmica de infiltração de água no solo, destaca-se principalmente aqueles relacionados as características do solo e cobertura do mesmo, fatores físicos como densidade do solo, porosidade, macro e microporosidade e resistência do solo a penetração influenciam diretamente na infiltração da água no solo. O objetivo desse estudo foi analisar a infiltração da água em Latossolo Vermelho Eutroférico (LVef) e Nitossolo Vermelho Eutrófico (NVef) sob diferentes usos, sendo área de preservação permanente (APP), plantio direto (PD) e pastagem (PT) em NVef, integração lavoura floresta (ILF), área com cana-de-açúcar (CN) e área com café (CF) em LVef. Utilizou-se o infiltrômetro de anéis concêntricos para os testes de infiltração, o qual foram determinadas a velocidade de infiltração básica (VIB) e a infiltração acumulada (I), através dos modelos empíricos de Kostiakov e Kostiakov-Lewis assim como um modelo ajustado. Foram determinados parâmetros físicos, tais como porosidade total, macro e microporosidade e densidade do solo, determinados a partir de amostras indeformadas do solo coletadas. E a partir do penetrômetro de impacto Stolf foram identificadas as camadas do solo com maior resistência mecânica do solo a penetração (RMSP). Em todas as áreas foram realizadas três repetições para os testes de infiltração de água, assim como coletadas três amostras indeformadas de solo e analisados a RMSP também em três repetições. A APP foi o local onde ocorreu maior VIB ($0,68 \text{ cm m}^{-1}$) e I ($157,4 \text{ cm}$), seguida por ILF ($132,6 \text{ cm m}^{-1}$ e $0,61 \text{ cm}$), CF ($80,2 \text{ cm m}^{-1}$ e $0,38 \text{ cm}$) e PT ($77,8 \text{ cm m}^{-1}$ e $0,35 \text{ cm}$). As áreas de PD e CN tiveram menores valores de VIB e I, $11,7 \text{ cm m}^{-1}$ e $0,08 \text{ cm}$ e $21,1 \text{ cm m}^{-1}$ e $0,11 \text{ cm}$ respectivamente, onde também foi identificada na superfície ($0,0 - 0,10 \text{ m}$) menor valor de macroporosidade (8 % para ambas) e maior RMSP na profundidade de até $0,20 \text{ m}$. APP, PT e CF tiveram maior RMSP a partir dos $0,20 \text{ m}$ de profundidade. A infiltração da água no solo e a RMSP estão relacionados com os outros fatores físicos estudados.

Palavras-chave: infiltrômetro de anéis; uso do solo; porosidade; resistência a penetração

4.1.2 ARTICLE: WATER INFILTRATION IN SOILS UNDER DIFFERENT USES

4.1.3 ABSTRACT

Several factors influence the dynamics of soil water infiltration, especially those related to soil characteristics and soil cover, physical factors such as soil density, porosity, macro and microporosity, and soil penetration resistance influence directly in the infiltration of water into the soil. The objective of this study was to analyze the infiltration of water in Eutrophic Red Latosol (LVef) and Eutrophic Red Nitosol (NVef) under different uses, being a permanent preservation area (PPA), direct seeding (DS) and pasture (PT), sugarcane area (SC) and coffee area (CF) in LVef. The infiltration of concentric rings was used for the infiltration tests, which determined the infiltration rate (IR) and accumulated infiltration (I) through the empirical models of Kostiakov and Kostiakov-Lewis as well as an adjusted model. Physical parameters, such as total porosity, macro and microporosity, and soil density, determined from undisturbed soil samples were determined. And from the Stolf impact penetrometer we identified the soil layers with the highest soil mechanical resistance to penetration (MRP). In all areas, three replications were performed for the water infiltration tests, as well as three undisturbed soil samples collected and the MRP analyzed in three replicates. PPA was the site where the highest IR (0.68 cm m^{-1}) and I (157.4 cm) occurred, followed by PT (132.6 cm m^{-1} and 0.61 cm), CF (80.2 cm^{-1} and 0.38 cm) and PT (77.8 cm m^{-1} and 0.35 cm). The areas of DS and SC had lower values of IR and I, 11.7 cm m^{-1} and 0.08 cm and 21.1 cm m^{-1} and 0.11 cm respectively, where it was also identified on the surface (0, 0 - 0.10 m) lower macroporosity value (8% for both) and higher MRP in the depth of up to 0.20 m. PPA, PT and CF had higher AMSY from the 0.20 m depth. The infiltration of water into the soil and the MRP are related to the other physical factors studied.

Keywords: ring infiltrator; use of the soil; porosity; resistance to penetration

4.2 INTRODUÇÃO

A substituição das florestas visando a introdução de sistemas agrícolas causa um desequilíbrio no ecossistema, onde a modificação da cobertura vegetal original e a implantação de culturas promovem o rompimento do equilíbrio entre o solo e o meio, modificando as propriedades físicas, químicas e biológicas, limitando a utilização agrícola (RICHART et al., 2005)

Ao considerar que o recurso solo é limitado e que alguns de seus componentes requerem períodos de tempo prolongados para serem restaurados, a previsão do grau das perturbações ambientais provocadas pelo manejo inadequado das atividades agropecuárias se torna essencial. Técnicas que visem avaliar a qualidade de um solo de forma simples e confiável ainda são objeto de investigações, e resultados sistemáticos deste monitoramento representam papel central em estudos sobre qualidade do solo (STEFANOSKI et al. 2013).

A qualidade estrutural do solo refere-se ao arranjo das partículas do solo constituindo um ambiente dinâmico, cuja alteração determinará um novo comportamento dos processos que ocorrem no solo (Ferreira, 2010). Segundo Aguiar (2008), a estrutura pode ser avaliada pela densidade do solo, macro e microporosidade, resistência mecânica do solo à penetração e infiltração da água no solo.

Muitos são os fatores que interferem na infiltração da água no solo, dentre os quais destacam-se aqueles relacionados com as características do solo e da cobertura vegetal, bem como aqueles relacionados às características da precipitação (BRANDÃO, 2003). A cobertura vegetal aumenta a macroporosidade da camada superficial e protege os agregados do impacto direto das gotas de chuva sendo, desta forma, capaz de manter altas taxas de infiltração e diminuir, consideravelmente, as perdas de água e solo.

A infiltração de água no solo pode ser determinada por diversas metodologias, dentre as quais se destacam: o infiltrômetro de anéis concêntricos e o infiltrômetro de aspersores, a escolha da metodologia depende do sistema de irrigação a ser utilizado e da disponibilidade de recursos.

Objetivou-se, neste trabalho, realizar testes de infiltração de água com uso do infiltrômetro de anéis concêntricos e identificar as camadas adensadas do solo por meio de determinação da resistência mecânica do solo à penetração, assim como identificar os parâmetros físicos como porosidade total do solo e densidade do solo de um Latossolo Vermelho Eutroférico e um Nitossolo Vermelho Eutrófico sob seis diferentes usos do solo.

4.3 MATERIAL E MÉTODOS

Os ensaios foram conduzidos no mês de maio de 2018, na Universidade Estadual do Norte do Paraná (UENP), *Campus* Luiz Meneghel. Segundo Köppen, o clima é definido como subtropical com temperatura média no mês mais frio inferior a 18°C e temperatura média no mês mais quente acima de 22°C, com verões quentes, geadas pouco frequentes e tendência de concentração das chuvas nos meses de verão, com pluviosidade média anual entre 1200 e 1400 mm, contudo sem estação seca definida.

No período em que os ensaios foram realizados não ocorreu precipitação pluviométrica, sendo a última chuva no dia dois de abril de 2018. As temperaturas durante os dias foram relativamente iguais, sendo a mínima de 15,6 °C e a máxima de 33,4 °C conforme informações do posto meteorológico da UENP.

4.3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O experimento foi realizado em dois solos, classificados como Latossolo Vermelho Eutroférico Típico e Nitossolo Vermelho Eutrófico, onde em cada tipo de solo foi realizado três tratamentos com três repetições em pontos escolhidos ao acaso sobre as mesmas condições climáticas, em seis diferentes sistemas de manejo de solo.

As áreas de estudo, independente da classificação (Nitossolo ou Latossolo), apresentavam as mesmas características texturais – solo predominantemente argiloso (REIS; SILVA, 1993). Esta é uma condição importante a ser observada, uma vez que a granulometria do solo influencia de modo significativo em seus atributos hidromecânicos (LIMA et al., 2013).

4.1.1 Latossolo vermelho Eutroférico - LVef

Apresentam cores vermelhas acentuadas, devido aos teores mais altos e à natureza dos óxidos de ferro presentes no material originário em ambientes bem drenados, e características de cor, textura e estrutura uniformes em profundidade. Predominantemente de relevo plano e suave ondulado. Profundos, porosos podendo ser muito porosos, apresenta condições de propiciar enraizamento profundo, é um solo com alta fertilidade e com altos teores de ferro (EMBRAPA, 2018).

Nas áreas referentes ao LVef os usos a serem considerados são:

Integração Lavoura-Floresta (ILF): área cultivada com eucalipto há 8 anos, com espaçamento entrelinhas de 14 m. Na entrelinha ocorre anualmente a sucessão de lavouras de soja e pousio. Após a colheita da cultura da soja em março de 2018, foi realizada a operação de escarificação do solo, diferenciando essa área das outras quanto a possíveis modificações estruturais.

Sobre o solo notou-se uma quantidade razoável de matéria seca, derivado de restos culturais do eucalipto e também das lavouras e plantas em pousio, proporcionando uma cobertura do solo e adição de matéria orgânica ao mesmo.

Cana-de-açúcar (CN): cultura está no oitavo ano de cultivo, com espaçamento entre linhas de 1,5 m. Devido à altura das plantas, já próximo do corte, não há presença de plantas daninhas na entrelinha. Verificou-se um alto volume de matéria seca derivado de restos culturais da própria cultura, proporcionando densa camada de cobertura do solo, protegendo-o das intempéries do ambiente.

Café (CF): implantado há 15 anos encontra-se bem desenvolvido. Sobre o solo, nas entrelinhas, existe cobertura de matéria seca derivada dos restos culturais do cafeeiro. Área com espaçamento semi adensado, o que ocasiona em maior fechamento das linhas, sombreamento, e consequentemente baixo índice de plantas invasoras.

4.1.2 Nitossolo Vermelho Eutrófico - NVef

Cor vermelho a vermelho escuro, argilosos e muito argilosos, estrutura em blocos fortemente desenvolvidos, derivados de rochas básicas e ultrabásicas, diferenciação dos horizontes pouco notável, de relevo mais acidentado que os latossolos, possuindo maiores riscos de erosão, caracterizado por sua alta fertilidade (EMBRAPA, 2018).

As áreas de estudo referentes ao NVef são as seguintes:

Área de Preservação Permanente (APP): área de reflorestamento localizada ao redor de nascente existente no local. Caracterizada por alta densidade vegetativa, sendo possível notar diversas espécies arbóreas de vegetação nativa. Sobre o solo existe também alta densidade de restos culturais, resultantes dessa ampla variedade vegetal, onde somente com a retirada desse material é possível ver o solo.

Pastagem (PT): A área de pastagem é a que menos sofreu modificações nos últimos anos. A área não foi reformada nos últimos 40 anos. Sobre ela ocorre periodicamente o pisoteio de bovinos. É formada por diversas espécies de gramíneas, tendo predominância de capim braquiária brizantha.

Como a área é forrada por espécies de gramíneas existe pouca matéria seca no local, sendo predominantemente ocupada por touceiras dos capins.

Sistema de Semeadura Direta (SD): no local ocorre anualmente a sucessão de culturas, como soja para safra de verão e milho para safra de inverno. Portanto a palhada existente na área é derivada de restos culturais das mesmas, e de possíveis plantas daninhas. Ocorre o trânsito de máquinas pesadas, tendo em vista os tratamentos fitossanitários e colheita realizadas mecanicamente.

No momento das análises realizadas existia a presença da cultura do milho, com aproximadamente 0,30 m de altura, estando no estágio vegetativo 5. Nas entrelinhas existia a presença de palhada de soja com pouca densidade, deixando partes do solo descoberto sobre ação direta das intempéries.

4.1.3 Localização das áreas

Os locais de coleta de amostras foram georreferenciados ao Sistema Geodésico Brasileiro, utilizando-se dois receptores de sinais tipo GNSS – Global Navigation Satellite Systems, um como base fixa e outro móvel, obtendo-se dados dos sistemas GPS (Americano e GLONASS (Russo) com frequência L1 e L2.

Para processamento das informações utilizou-se o Software aplicativo LEICA Geo Office 8.4, processador Kernel PSI-Pro 4.0. Os dados da base foram ajustados ao Sistema Geodésico Brasileiro (SGB) a partir das estações de Maringá e de Presidente Prudente, da Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo (RBMC).

Após ajustamento obteve-se o posicionamento preciso da base, com Latitude Sul de 23° 06' 50,68151", Longitude Oeste de 50° 21' 24,80770" e Altitude Elipsoidal de 440,0522 m.

As coordenadas dos pontos amostrados (Tabela 1) foram ajustadas à base e transformadas para o Sistema de Referência Geocêntrico para a América do Sul (SIRGAS 2000). Adotou-se o Sistema de Coordenadas UTM, fuso 22, Meridiano Central de 21° W Gr.

Tabela 1 - Coordenadas UTM dos sistemas de uso do solo.

Ponto	Código	E	N	Altitude (m)
1	APP	566129,515	7444295,343	401,796
2	SD	565992,740	7444180,587	412,560
3	PT	565623,129	7443674,073	430,842
4	ILF	565570,626	7443105,601	452,374
5	CN	565998,515	7443105,873	463,622
6	CF	565580,114	7444171,679	436,472

Nota: APP = Área de Preservação Permanente; SD = Semeadura Direta; PT = Pastagem; ILF = Integração Lavoura Floresta; CN = Cana de açúcar; CF = Café

Na Figura 1 está a distribuição das áreas de estudo dispostas no *campus*, georreferenciadas.

Figura 1. Localização em mapa das áreas estudadas.



Nota: 1 = APP; 2 = PD; 3 = PT; 4 = ILF; 5 = CN; 6 = CF.

Fonte: Google Earth Pro

4.2 ANÁLISES REALIZADAS

Após obtenção dos pontos georreferenciados, foram realizadas em sequência as seguintes análises: resistência mecânica do solo a penetração vertical, capacidade e velocidade de infiltração de água, e por último a porosidade total a macro e a microporosidade.

4.2.1 Resistência mecânica do solo a penetração

O equipamento utilizado para medir resistência mecânica do solo à penetração (RMSP) vertical foi o penetrômetro de impacto modelo comercial IAA/PLANALSUCAR/Stolf, segundo método descrito por Stolf et al. (1983). Com as seguintes características: massa de 4 kg com impacto em curso de queda livre de 0,40 m; cone com 0,0128 m de diâmetro, área de 1,29 cm² e ângulo sólido de 30°; haste com diâmetro aproximado de 0,01 m. Os dados de resistência do solo a penetração foram anotados até a profundidade de 0,50 m (STOLF, 1991).

Os dados foram processados num programa computacional desenvolvido em linguagem VBA, onde adotou-se a planilha *Excel* para interface com usuário devido a sua simplicidade, facilitando seu uso, sendo possível colocar uma série de perfis na mesma planilha, o que permite trabalhar os dados separadamente e compará-los, por exemplo área de mata *versus* áreas agrícolas (STOLF et al., 2014).

4.2.2 Infiltração de água

Para caracterização da infiltração de água no solo, utilizou-se o método do infiltrômetro de anéis concêntricos. Essa metodologia utiliza dois anéis de metal, sendo o anel inferior com diâmetro de 0,25 m e o anel exterior de 0,50 m ambos com altura de 0,30 m (BERNARDO et al. 2006).

Primeiramente os terrenos foram limpos superficialmente para retirada da cobertura morta, em sequência os pares de anéis serem cravados de forma concêntrica no solo, até a profundidade de 0,15 m. No interior do anel de menor diâmetro foi fixado uma régua graduada de 0,15 m para auxiliar na leitura da lâmina d'água. Manteve-se mesmas lâminas de água nos dois anéis, sendo a leitura realizada somente no anel interior, pois o externo é utilizado somente para que sejam neutralizados os efeitos da infiltração lateral (Figura 2).

Figura 2. Infiltrômetro de Anéis Concêntricos com régua graduada no cilindro interior, anéis preenchidos com água respectivamente.



Após a leitura inicial da altura da água com a régua graduada, iniciou-se a contagem do tempo para infiltração da água no solo. Com auxílio de cronometro foram obtidos os tempos, as leituras da altura da água foram realizadas no interior do anel menor com intervalo de tempo de minuto a minuto até 10, a cada 5 minutos até 30, a cada 10 minutos até 60, e por fim intervalo de 30 minutos até os 180 minutos.

A reposição de água ocorria a cada intervalo de tempo anotado. Salvo em alguns casos esse intervalo de tempo foi alterado, podendo ser maior ou menor que o padrão devido a oscilação na taxa de infiltração encontrada nas diferentes áreas. Teve-se o cuidado de manter a carga hidráulica do cilindro exterior semelhante ao do cilindro interno.

Para a obtenção dos valores da VIB em cada área de estudo, foi realizada a média aritmética dos últimos cinco valores das velocidades de infiltração. Nesta faixa, a oscilação da velocidade já era reduzida, demonstrando estabilização. A utilização de um valor médio caracteriza-se como mais representativo que apenas o valor final. Anotando-se os dados numa planilha, foram obtidos posteriormente as curvas de infiltração acumulada (I) e Velocidade de Infiltração (VI). Plotando-se os dados de I e VI *versus* o tempo acumulado, como citado por Bernardo et al. (2006).

Foram utilizados para determinação da velocidade de infiltração básica os modelos empíricos desenvolvidos por Kostiakov (1932) e Kostiakov – Lewis (1945), que descrevem o volume de água que penetra no solo em função do tempo:

Equação de Kostiakov (1932)

$$I = \alpha T^n$$

Equação 1.

$$\frac{dI}{dT} = VI = \alpha n T^{n-1}$$

Equação 2.

Em que,

dI – Derivada de infiltração

dT – Derivada de tempo

I – Infiltração acumulada (cm min⁻¹)

α – Constante representativa da capacidade de infiltração inicial

T – Tempo percorrido desde o início da infiltração (min)

n – Constante que depende do tipo de solo (0 -1)

VI – Velocidade de infiltração

Equação de Kostiakov - Lewis (1945)

$$I = \alpha T^n + kT$$

Equação 3.

$$\frac{dI}{dT} = VI = \alpha n T^{n-1} + k$$

Equação 4.

Em que,

dI – Derivada de infiltração

dT – Derivada de tempo

I – Infiltração acumulada (cm min⁻¹)

α – Constante representativa da capacidade de infiltração inicial

T – Tempo percorrido desde o início da infiltração (min)

n – Constante que depende do tipo de solo (0 -1)

VI – Velocidade de infiltração

k – Velocidade de infiltração básica (min)

As equações (1) e (3) representam a infiltração acumulada, enquanto que as equações (2) e (4) referem-se à velocidade de infiltração da água.

4.2.3 Porosidade total, macro e microporosidade

A amostragem do material de solo foi realizada no local exato onde os anéis concêntricos estavam instalados. Foram utilizadas amostras de solo com estrutura indeformada coletadas com auxílio do extrator de solo de Uhland na profundidade de 0,10 m.

As análises para determinação da macro, microporosidade e porosidade total foram realizadas no Laboratório de Solos da UENP. As amostras foram saturadas por meio da elevação gradual de uma lâmina de água numa bandeja, até atingir cerca de dois terços da altura do anel volumétrico.

Para a determinação da macro e da microporosidade foi empregado o uso da mesa de tensão, a qual as amostras de solo após serem saturadas em água por 24 h, são pesadas para obtenção de sua massa e colocadas sobre a mesa. Sob a mesa de tensão ajusta-se a altura da coluna d'água para 0,60 m para obter-se uma tensão de 0,006 MPa. Essa tensão provoca a drenagem da água retida nos poros do solo, através do vácuo que é formado (EMBRAPA, 2018).

Após 24 horas retirou-se os cilindros contendo a amostra de solos e novamente os pesou, onde sabendo-se o volume do cilindro aplicou-se a equação abaixo para obtenção da macroporosidade do solo.

Equação para determinação da macroporosidade:

$$M_{\text{acro}}(\%) = \frac{(\mu - a)}{\text{vol}} \cdot 100 \quad \text{Equação 5.}$$

Onde:

μ = Massa úmida após o solo saturado por 24 horas (g)

a = Massa da amostra após ser submetida uma tensão de 60 cm de coluna de água (g)

vol = Volume do cilindro (cm^3)

Posteriormente a pesagem e determinação da macroporosidade as amostras foram então levadas à estufa onde foram mantidas a temperatura de 105 °C por 48 h, e novamente pesadas onde a partir da equação 6 ocorreu a determinação da microporosidade.

Equação para determinação da microporosidade:

$$M_{\text{icro}}(\%) = \frac{(ma - ms)}{\text{Vol}} 100 \quad \text{Equação 6.}$$

Onde:

ma = Massa da amostra após ser submetida a mesa de tensão de 60 cm de coluna de água (g)

ms = Massa da amostra seca a 105° C (g)

Vol = Volume do cilindro (cm³)

Para o cálculo da porosidade total (P_t) adotou-se o método do balão volumétrico. Primeiramente foram determinados os valores da densidade do solo e densidade de partículas de cada amostra, onde a partir de então esses valores foram inseridos na equação a seguir para determinar os valores da P_t .

Equação para determinação da porosidade total:

$$P_t(\%) = \left(1 - \frac{b}{a}\right) 100 \quad \text{Equação 7.}$$

Onde:

P_t (%) – Porosidade total

a – Densidade de partículas

b – Densidade do solo

4.2.4 Análise estatística

O delineamento foi em blocos casualizados, com dois solos, seis áreas e três repetições. Para comparação das médias foi utilizado o teste Tukey a 5% de significância utilizando o software R.

4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.3.1 DESEMPENHO DAS EQUAÇÕES DE INFILTRAÇÃO

4.3.2 Comportamento das áreas estudadas frente ao ensaio de infiltração

Os resultados médios simplificados dos testes com infiltrômetro de anéis concêntricos realizados nas seis áreas de estudo deste trabalho são apresentados na Tabela 2 e Figura 3.

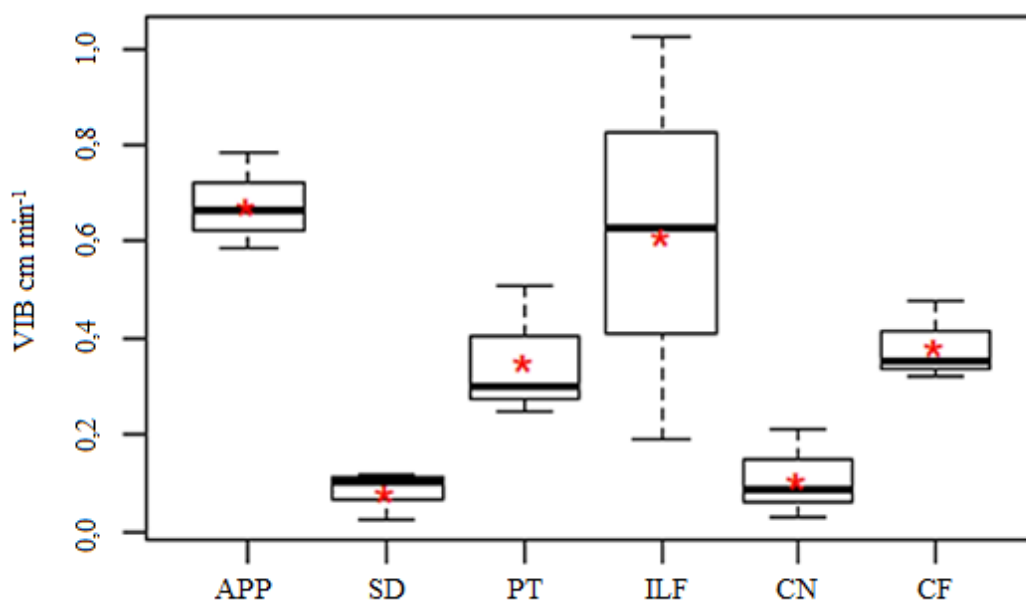
Tabela 2 - Infiltração acumulada (I) ao fim do experimento com duração t e velocidade de infiltração básica (VIB) para as áreas de estudo (médias de 3 repetições).

Tipo de solo	Tipo de cultura	t (min)	I (cm)	VIB (cm min ⁻¹)
	APP	180	157,4 a ⁽¹⁾	0,68 a ⁽¹⁾
NVef	SD	150	11,7 b	0,08 c
	PT	170	77,8 ab	0,35 abc
LVef	ILF	180	132,6 ab	0,61 ab
	CN	140	21,1 b	0,11 bc
	CF	170	80,2 ab	0,38 abc

Nota: NVef = Nitossolo Vermelho Eutrófico; LVef = Latossolo Vermelho Eutroférico; APP = Área de Preservação Permanente; SD = Semeadura Direta; PT = Pastagem; ILF = Integração Lavoura Floresta; CN = Cana de açúcar; CF = Café.

Nota: ⁽¹⁾ Médias na mesma coluna seguidas de mesma letra não diferem entre si ao nível de 5% (teste de Tukey).

Figura 3 – Box-Plot da velocidade de infiltração básica (VIB) para as diferentes áreas de estudo



Nota: APP = Área de Preservação Permanente; SD = Semeadura Direta; PT = Pastagem; ILF = Integração Lavoura Floresta; CN = Cana de açúcar; CF = Café.

A análise dos valores da VIB (Tabela 2) observa-se que a média geral nas áreas ficou em 0,37 cm.min⁻¹.

A APP foi a que apresentou maior VIB de 0,68 cm min⁻¹ e infiltração acumulada de 157,4 cm. A área de mata, em reconstituição a anos, apresenta vegetação bem estabelecida, com grande quantidade de material vegetal (serapilheira) ainda em decomposição, o que favorece a

redistribuição de água no solo. O elevado valor de infiltração acumulada possivelmente está relacionado a maior naturalidade estrutural que pode ser associada a estes sistemas. Resultados correlatos foram apresentados por Pinheiro et al. (2009) que, ao trabalhar com solos de mata nativa, plantio convencional, plantio direto e pastagem, verificaram que a mata nativa apresentou capacidade de infiltração superior à dos demais usos do solo.

A ILF foi a que apresentou maior valor entre os dados obtidos experimentalmente (Figura 3), com um C.V. de 67,9 %, mas, mesmo assim, não apresentou diferença estatística significativa em relação a APP. Esta área é composta por eucaliptos de, aproximadamente, 8 anos idade, o que sinalizava a possibilidade de enraizamento distribuído em toda a área. Considerando o significativo tempo de permanência das espécies no local era de se esperar que existissem caminhos preferenciais para a água infiltrada pelo ensaio de infiltração devido, por exemplo, ao apodrecimento de algumas raízes. A discrepância observada entre as medições em campo ainda pode estar relacionada a outros dois aspectos dos locais de realização do ensaio – o primeiro vinculado a escarificação do solo em um dos pontos de avaliação e o segundo, a um aspecto de selamento observado em outro ponto, por onde havia passagem de maquinário.

As áreas PT e CF apresentaram valores próximos entre si de VIB e infiltração acumulada e intermediários aos demais, porém não diferiram estatisticamente nas outras quatro áreas. No momento da realização do ensaio a área de pastagem, inserida em um sistema de piquetes, já estava reestabelecida, com grama a altura de 0,30 – 0,40 m. Já a área de plantação de café, o ensaio foi realizado nas entrelinhas, porém próximo a planta, onde a reposição da matéria orgânica ao solo era realizada por meio de suas próprias folhas. Ambos, então, aparentemente apresentavam atividade radicular e microbiológica que auxiliariam na manutenção da macro e microporosidade para favorecer a infiltração observada.

As menores VIB e lâmina infiltrada ocorreram na área SD com $0,08 \text{ cm min}^{-1}$ e 10,3 cm, respectivamente. O sistema de plantio direto possibilita aumentar o tempo da infiltração em si, devido a maior rugosidade da superfície, além que seus resíduos auxiliam também na redução das taxas de evaporação da água (COSTA et al., 2003). Roth e Meyer (1983), trabalhando com chuva simulada, encontraram velocidade de infiltração básica de $0,010 \text{ m.min}^{-1}$ em plantio direto, valor que representa a mesma ordem de grandeza do que o obtido para este trabalho. Outros autores como, Vieira (1981), Eltz et al. (1989), Derpsch et al. (1991) e Stone e Silveira (1999), também concluíram que houve maior infiltração de água em SD, em relação a áreas com preparo mínimo e plantio convencional.

Particularmente, baixa também foi a infiltração em CN ($0,11 \text{ cm.min}^{-1}$), certamente influenciada por seu sistema mecanizado de produção. Neste solo, em 140 minutos de duração dos testes de infiltração, a lâmina infiltrada, em média, foi de apenas 0,21 m. Esta área de estudo é significativamente maior em dimensão que as demais, pertence a uma usina de grande porte, além de ser relativamente plana, todos fatores que indicam ser uma área altamente mecanizada.

Esta mecanização estimula a avaliação de que, assim como para a área de plantio direto, um selamento superficial do solo pode ser percebido, diminuindo o potencial de infiltração de água no solo (TORMENA & ROLOFF; 1996)

As equações das curvas correspondentes para aos modelos de Kostiakov e Kostiakov-Lewis e também para o modelo ajustado pela média dos dados experimentais estão apresentadas na Tabela 3.

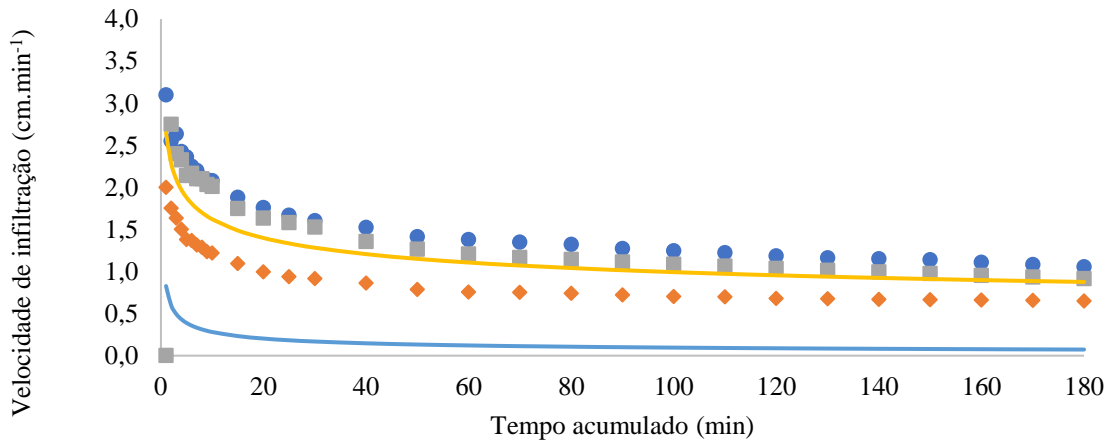
Tabela 3 - Equações de Kostiakov, Kostiakov-Lewis e modelo ajustado pela média dos dados experimentais para a infiltração acumulada ($I(t) - \text{cm} \cdot \text{min}^{-1}$) para as áreas de estudo.

Tipo de solo	Tipo de cultura	Kostiakov	Kostiakov-Lewis	Modelo ajustado
	APP	$I = 2,647 \times t^{0,787}$	$I = 0,827 \times t^{0,531} + 0,68 \times t$	$I = 2,720 \times t^{0,786}$
NVef	PD	$I = 0,807 \times t^{0,416}$	$I = 0,518 \times t^{0,414} + 0,08 \times t$	$I = 0,783 \times t^{0,494}$
	PT	$I = 2,257 \times t^{0,688}$	$I = 2,575 \times t^{0,450} + 0,35 \times t$	$I = 2,296 \times t^{0,687}$
	ILF	$I = 0,791 \times t^{1,020}$	$I = 0,777 \times t^{1,024} + 0,63 \times t$	$I = 1,831 \times t^{0,819}$
LVef	CN	$I = 0,739 \times t^{0,593}$	$I = 0,599 \times t^{0,548} + 0,11 \times t$	$I = 0,907 \times t^{0,613}$
	CF	$I = 1,824 \times t^{0,561}$	$I = 2,450 \times t^{0,520} + 0,38 \times t$	$I = 3,011 \times t^{0,642}$

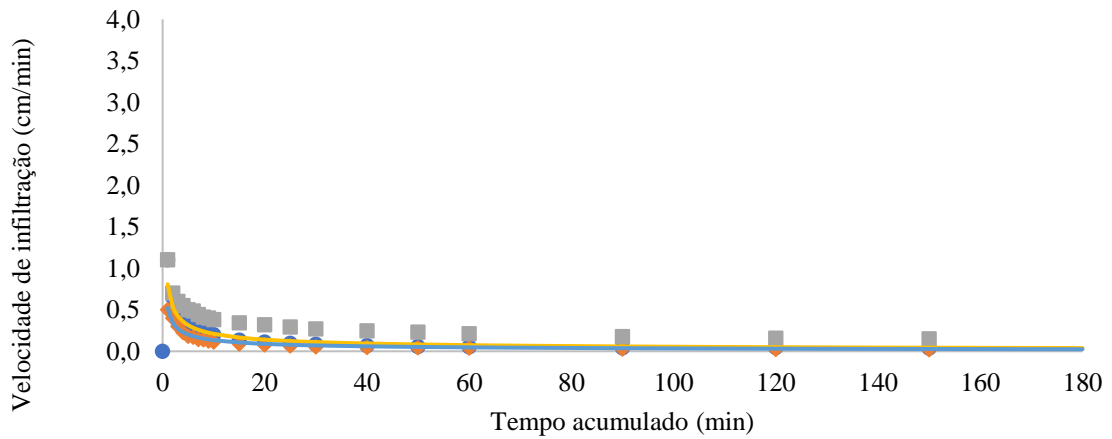
Nota: NVef = Nitossolo Vermelho Eutrófico; LVef = Latossolo Vermelho Eutroférico; APP = Área de Preservação Permanente; PD = Plantio Direto; PT = Pastagem; ILF = Integração Lavoura Floresta; CN = Cana de açúcar; CF = Café. I em cm; t em min.

Nas Figura 4 e Figura 5 estão apresentadas as curvas de velocidade de infiltração utilizando os dados experimentais e as curvas obtidas a partir das equações Kostiakov e Kostiakov-Lewis, subdivididas pelos diferentes tipos de solo (NVef e LVef), permitindo a comparação entre os valores observados e calculados (ajustados).

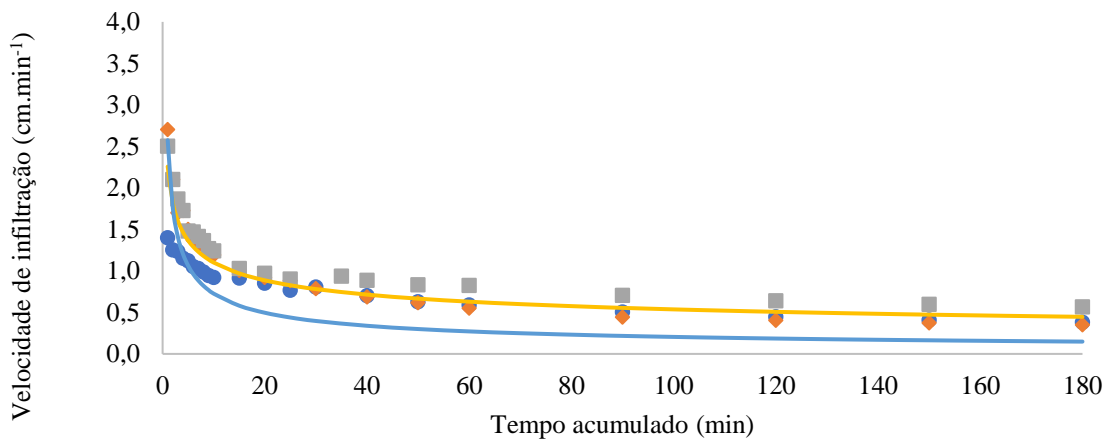
Figura 4 - Dados e curvas de velocidade de infiltração (equações de Kostiakov e Kostiakov-Lewis) para as áreas de estudo APP, SD e PT - NVef



● APP 1 ◆ APP 2 ■ APP 3 — VIm (Kostiakov) — VIm (Kostiakov-Lewis)

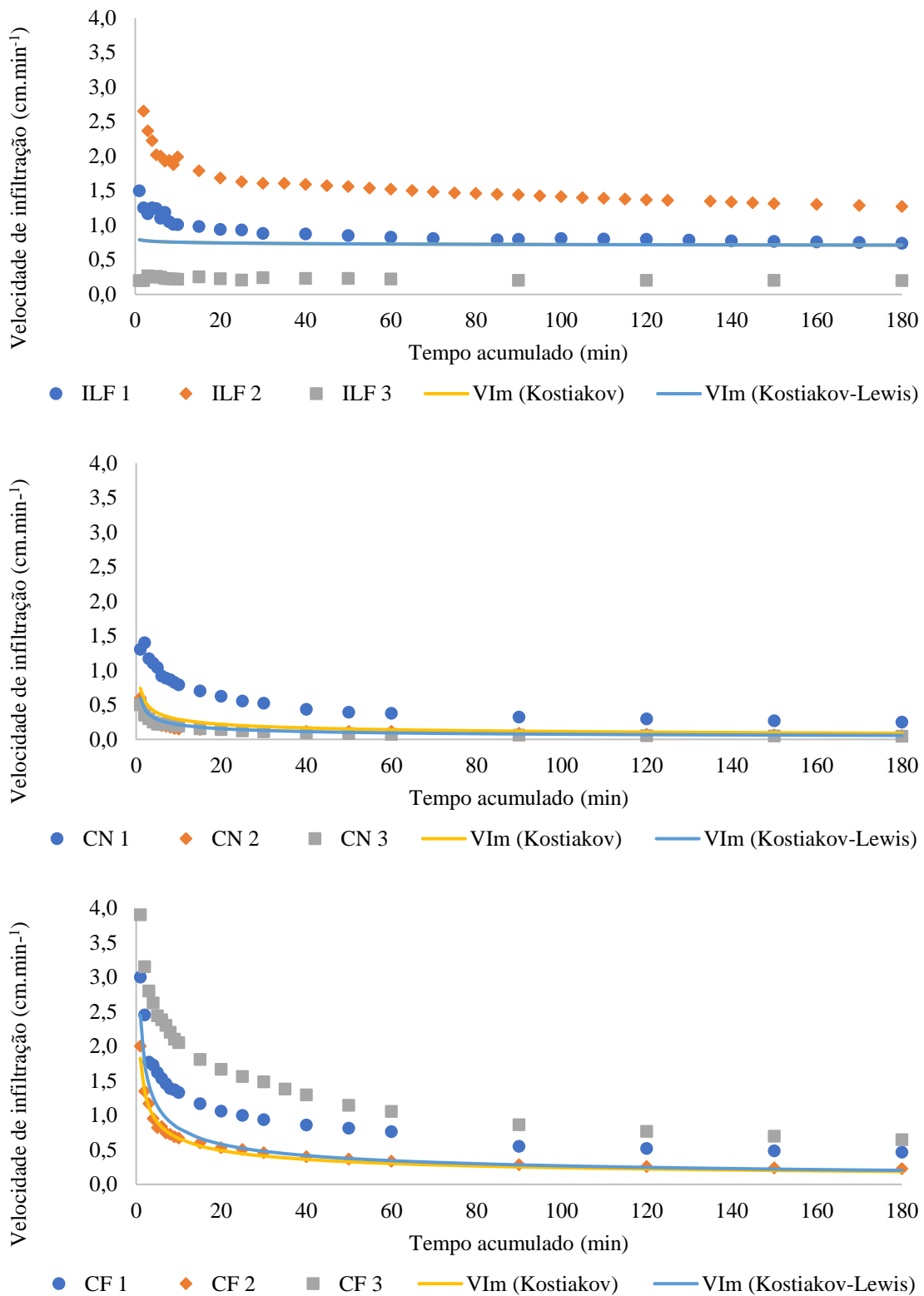


● SD 1 ◆ SD 2 ■ SD 3 — VIm (Kostiakov) — VIm (Kostiakov-Lewis)



● PT 1 ◆ PT 2 ■ PT 3 — VIm (Kostiakov) — VIm (Kostiakov-Lewis)

Figura 5 - Dados e curvas de velocidade de infiltração (equações de Kostiakov e Kostiakov-Lewis) para as áreas de estudo ILF, CN e CF - LVeF



Já na Figura 6 e na Figura 7 estão apresentadas, respectivamente, as curvas de infiltração acumulada dos sistemas de manejo estudados nos diferentes tipos de solo (NVef e LVef) também utilizando os dados experimentais e resultados ajustados pelas equações Kostiakov e Kostiakov-Lewis, além de um modelo ajustado considerando os dados observados.

Figura 6 - Dados e curvas de infiltração acumulada (equações de Kostiakov, Kostiakov-Lewis e modelo ajustado pela média dos dados experimentais) para as áreas de estudo APP, SD e PT – NVef.

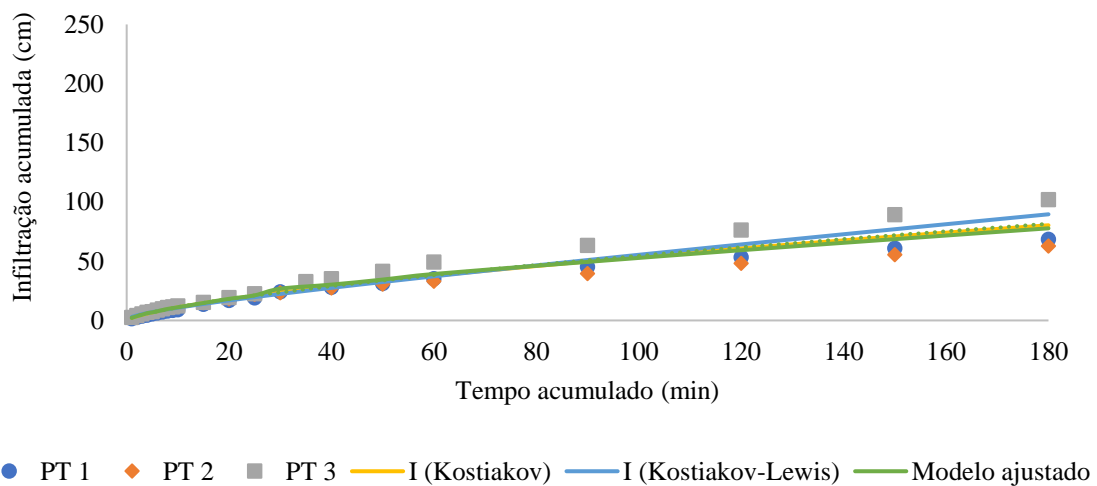
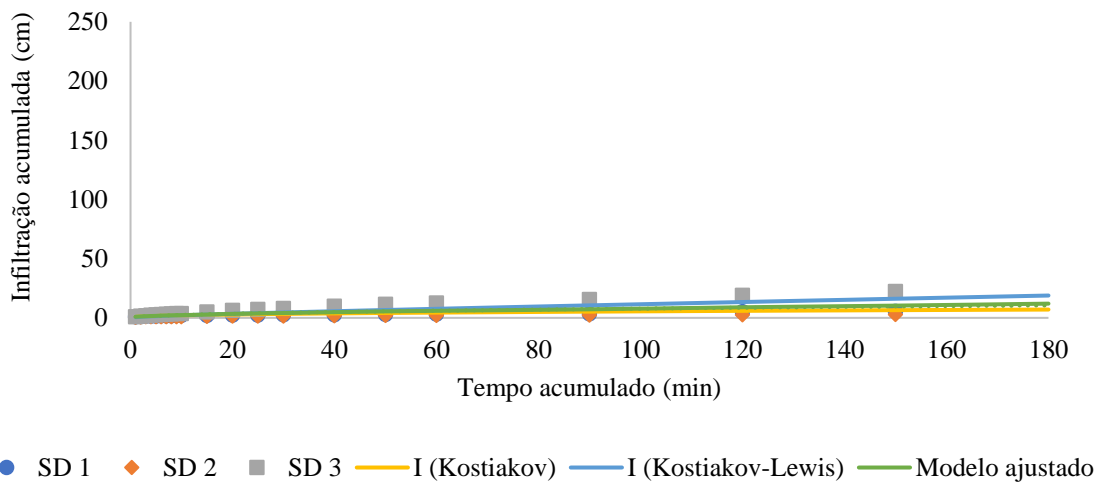
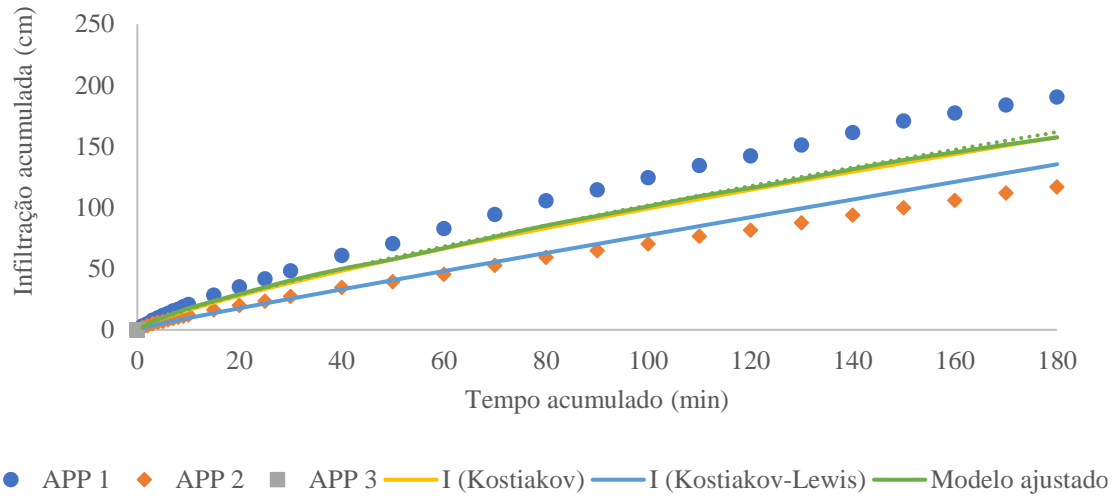
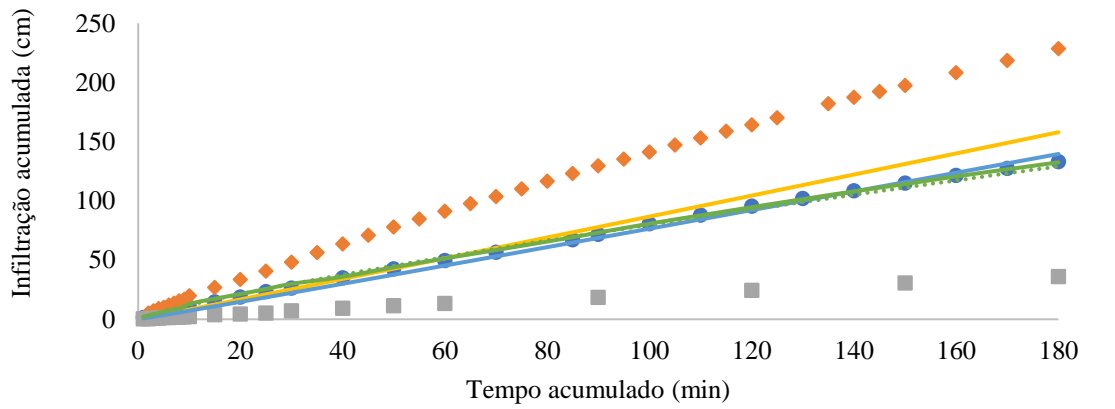
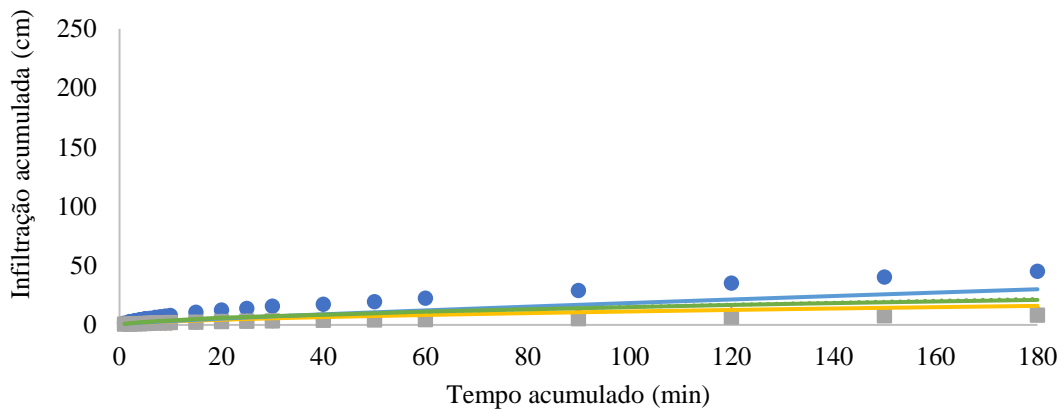


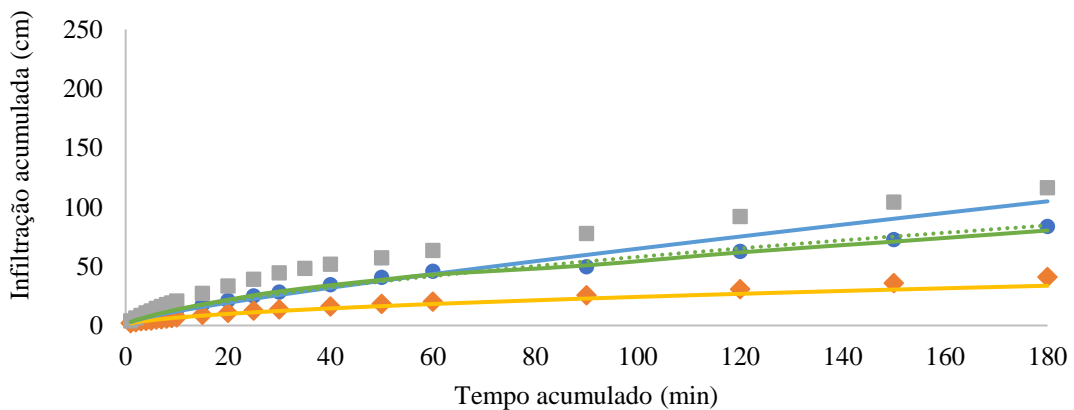
Figura 7 - Dados e curvas de infiltração acumulada (equações de Kostiakov, Kostiakov-Lewis e modelo ajustado pela média dos dados experimentais) para as áreas de estudo ILF, CN e CF – LVeF.



● ILF 1 ◆ ILF 2 ■ ILF 3 — I (Kostiakov) — I (Kostiakov-Lewis) - - - Modelo ajustado



● CN 1 ◆ CN 2 ■ CN 3 — I (Kostiakov) — I (Kostiakov-Lewis) - - - Modelo ajustado



● CF 1 ◆ CF 2 ■ CF 3 — I (Kostiakov) — I (Kostiakov-Lewis) - - - Modelo ajustado

Pela avaliação de infiltração acumulada nas diferentes áreas os dados experimentais e os modelos de Kostiakov e Kostiakov-Lewis aplicados apresentaram, via de regra, a mesma tendência. Isso poderia sugerir que os ajustes estariam adequados. Para efetiva verificação do ajuste do desempenho das equações de infiltração as mesmas foram testadas pela comparação dos valores do erro médio quadrático (EMQ) de cada teste de infiltração, para cada equação, por meio do teste de Tukey, ao nível de confiança de 95% de significância.

As médias globais dos erros médios quadráticos foram relativamente altas, indicando que nenhum dos ajustes seriam satisfatórios para todos as áreas estudadas, nem mesmo aquele proposto a partir da média dos valores obtidos em campo. Vale a pena ressaltar que, como as séries de dados obtidos experimentalmente foram muito discrepantes entre si, o erro médio quadrático global apresentou-se alto. Isso pode ocorrer devido à localização do ponto de realização do ensaio, a não saturação efetiva do solo ou mesmo a heterogeneidade do sistema solo.

4.3.3 Propriedades do solo que influenciam o ensaio de infiltração

A porosidade total, macro e microporosidade, bem como a D_s e a densidade das partículas do solo, analisadas para cada área de estudo, estão apresentadas na Tabela 4.

Tabela 4 - Porosidade total, macro e microporosidade para as áreas de estudo

Tipo de solo	Tipo de cultura	Porosidade (%)					Densidade (kg dm^{-3})		
		Total	Média	Macro	Média	Micro	Média	D_s	D_p
APP		51		6		76			
		63	55 a ⁽¹⁾	13	10 a	66	71 ab	1,5 A ⁽¹⁾	3,2 AB
		51		12		71			
NVef	SD	51		5		76			
		58	54 a	14	8 a	72	76 a	1,5 A	3,3 A
		52		6		80			
PT		59		8		73			
		62	61 a	6	14 a	67	68 ab	1,3 A	3,3 AB
		61		27		63			
ILF		60		7		69			
		54	56 a	13	9 a	67	68 ab	1,4 A	3,2 AB
		54		7		69			
LVef	CN	59		8		69			
		55	56 a	7	8 a	74	70 ab	1,4 A	3,1 AB
		53		8		67			
CF		58		7		66			
		59	60 a	12	17 a	65	63. b	1,3 A	3,2 B
		63		32		57			

Nota: APP = Área de Preservação Permanente; SD = Semeadura Direta; PT = Pastagem; ILF = Integração Lavoura Floresta; CN = Cana de açúcar; CF = Café; Total = Porosidade total; Macro = Macroporosidade; Micro = Microporosidade; D_s = densidade do solo; D_p = densidade das partículas.

Nota⁽¹⁾: Médias na mesma coluna seguidas de mesma letra, minúscula ou maiúscula, não diferem entre si ao nível de 5% (teste de Tukey).

De acordo com a Tabela 4, não houve diferença estatística significativa para a porosidade total e macroporosidade dos solos nas seis áreas de estudo. A mesma tabela ainda apresenta que densidade do solo, propriedade física mais estudada e monitorada em campo (LLANILLO et al., 2006), também não demonstrou diferença significativa entre as áreas. Este resultado pode estar

vinculado ao processo de formação dos solos que, mesmo tendo classificação diferente (NVef e LVef), foram formados com muitos fatores pedogenéticos semelhantes (EMBRAPA, 2018).

No entanto, ressalta-se que a destruição dos agregados do solo pelo preparo mecânico intenso, via de regra, ocasiona a alteração da sua estrutura, culminando em redução da porosidade total e macroporosidade das camadas mais superficiais, diminuindo, inclusive, a taxa de infiltração de água no solo (PANACHUKI et al., 2006). Diversos autores relatam diminuição da densidade e aumento da porosidade total do solo com o aumento da profundidade e ainda correlaciona a maior densidade e a menor porosidade na superfície ao sistema de manejo adotado nas áreas (ANJOS et al., 1994; TORMENA et al., 1998; SILVA et al.; 2000).

Para os parâmetros microporosidade e densidade das partículas foi verificada uma diferença significativa entre as áreas SD e CF, que divergiram entre si. Sobretudo para a análise da diferença na microporosidade, vale destacar que, como mencionado, a área de SD é altamente mecanizada. Isso, aliado ao fato de que semeadura direta não segue os parâmetros necessários para manutenção das vantagens do sistema (por exemplo, não havendo rotação de culturas) pode ter favorecido a desagregação das partículas de solo em superfície, culminando no aumento percentual de microporos. Em situação diferente, a área CF apresenta uma situação, mesmo que incipiente, de reposição de matéria orgânica, ou seja, o solo não chega a ser exposto, apresenta pouca cobertura vegetal, a maioria oriunda das próprias folhas, flores e frutos do cafeeiro, além de não demandar maquinário pesado como o plantio direto. Ambos fatores citados podem corroborar para a permanência da distribuição de microporos próximas as condições naturais.

Como mencionado, as seis áreas de estudo apresentavam textura argilosa. A distribuição granulométrica do solo indica a proporção entre seus diferentes tamanhos de partículas constituintes. No entanto, de modo mais abrangente, faz-se necessário avaliar a destruição de agregados ou a formação de estruturas compactadas em superfície ou subsuperfície, pois estas propriedades podem funcionar como indicadores de possíveis restrições ao crescimento radicular das culturas (DIAS JUNIOR e PIERCE, 1996; TORMENA et al., 2002). Portanto, a RMSP é uma das propriedades físicas do solo diretamente relacionados com o crescimento das plantas (LETEY, 1985) e modificada pelos sistemas de preparo do solo.

Os valores de RMSP encontram-se na Tabela 5, as médias não demonstraram diferença significativa entre as diferentes áreas de estudo. Esta ocorrência possivelmente se deu por conta da baixa umidade do solo no momento da realização dos ensaios, a qual possibilita um aumento de RMSP devido a presença de sucção matricial. Cabe ressaltar também a própria imprecisão do método, que pode comprometer algumas medidas realizadas.

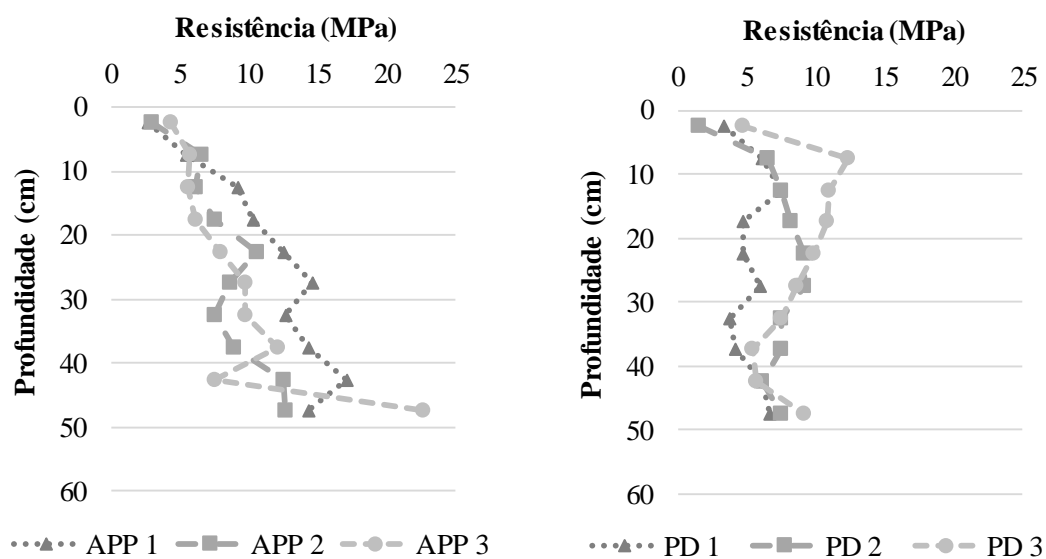
Tabela 5 – Valores da RMSP com a profundidade.

Prof. (cm)	Valores de RMSP em MPa					
	APP	SD	PT	ILF	CN	CF
0 – 5	3,28	3,16	4,69	6,35	6,68	3,16
5 – 10	5,85	8,29	6,44	6,85	8,56	5,12
10 – 15	6,91	8,60	6,77	6,81	8,12	6,54
15 – 20	7,95	7,86	6,91	7,49	9,13	8,55
20 – 25	10,30	7,92	9,12	7,60	8,38	7,66
25 – 30	10,97	7,91	10,45	7,67	9,15	8,05
30 – 35	9,96	6,20	12,35	7,53	10,39	8,09
35 – 40	11,74	5,67	15,11	7,56	10,51	6,93
Média	8,37	6,95	8,98	7,23	8,87	6,76

Nota: APP = Área de Preservação Permanente; SD = Semeadura Direta; PT = Pastagem; ILF = Integração Lavoura Floresta; CN = Cana de açúcar; CF = Café;

Nas Figuras 8 e na Figura 9 estão apresentados os perfis de RMSP das áreas estudadas.

Figura 8 - RMSP para as áreas estudadas (APP, SD, PT) – NVef



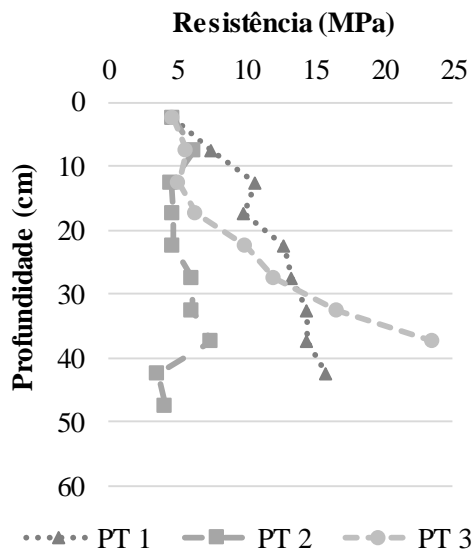
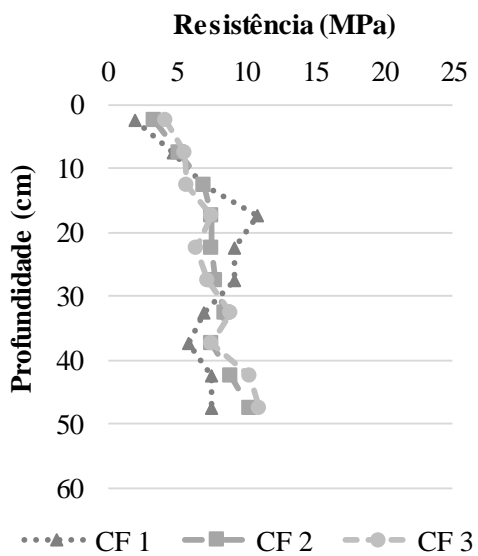
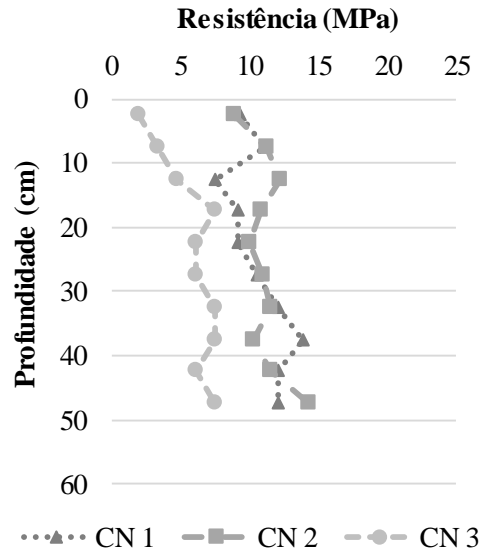
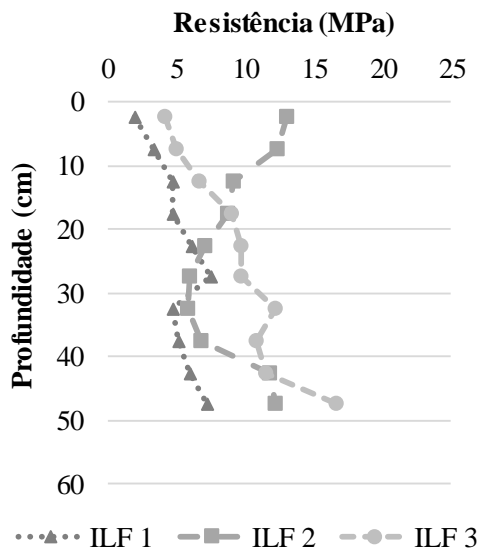


Figura 9 - RMSR para as áreas estudadas (ILF, CN, CF) – LVef



Pela análise geral dos resultados - Figura 8 - todos os perfis demonstraram incremento de resistência à penetração do solo com a profundidade, alguns pontos de forma mais pronunciada, como é o caso da área APP e PT, outros menos expressiva, como CN.

No entanto, se forem avaliadas separadamente as triplicatas dos ensaios executados é possível notar que as menores variações entre os conjuntos de ensaios realizados foram obtidas para a área CF. Outra avaliação poderia ser feita para SD em que uma das observações (SD3) demonstrou significativa elevação, de 5 a 12,5 MPa nos primeiros 0,10 m, com posterior diminuição. Isso nitidamente traduz um comportamento de compactação superficial, resultado que corrobora com as baixas infiltrações observadas para esta área e os relatos de alta mecanização da área. Por fim, mereceria destaque também o ensaio ILF2, cuja características de elevada resistência superior (entre 0 – 0,5 m) não se mantém, sofrendo uma queda e voltando a aumentar apenas por volta dos 0,40 – 0,50 m. Para esta observação foi constatado em campo, no momento da realização do ensaio, que o aspecto do solo neste ponto era de uma estrutura compactada, porém pouco pronunciada (menos de 0,02 m), fazendo com que o resultado no ensaio de resistência a penetração sinalizasse sua ocorrência, porém, não impedindo a infiltração.

Segundo vários autores, valores elevados de resistência do solo à penetração influenciam no crescimento das raízes, tanto em relação ao seu comprimento, diâmetro e direção preferencial do crescimento radicular, quanto no crescimento da parte aérea das plantas e na partição de carboidratos entre a raiz e parte aérea (MASLE e PASSIOURA, 1987; MASLE e FARQUHAR, 1988; IJIMA e KONO, 1991; MEROTTO e MUNDSTOCK, 1999).

A determinação dos chamados valores críticos de resistência à penetração é dependente da espécie em questão. Estudos relatam que 2 MPa de resistência à penetração traduzem condições impeditivas para o crescimento das raízes e da parte aérea das plantas (TAYLOR e GARDNER; 1963). Porém, autores como Tavares Filho et al. (2001), ao trabalhar com a cultura do milho sob dois sistemas de manejo (plantio direto e sistema convencional), relataram que valores de resistência do solo à penetração que chegaram a 4 MPa não restringiram o desenvolvimento radicular dessa cultura nos dois sistemas de manejo analisados.

Tormena e Roloff (1996) ao estudar a resistência à penetração num Latossolo Vermelho-Escuro sob o manejo de plantio direto verificou que as entrelinhas trafegadas a resistência era três vezes maior que as áreas não trafegáveis, na faixa de 0 a 0,10 m de profundidade. Já Tormena et al. (2002), ao estudar um solo de textura média, cultivado com mandioca, obtiveram valores de resistência à penetração na camada de 0 a 5 cm de profundidade na ordem de 4,0 e 2,7 MPa em plantio direto, 2,5 e 1,8 MPa em preparo mínimo e 2,0 e 1,4 MPa em plantio convencional para solos relativamente seco (umidade de $0,15\text{kg.kg}^{-1}$) e próximo da capacidade de campo (condições mais úmida). Sendo assim, dependendo do teor de umidade, ou mesmo da existência ou não de

irrigação, a resistência a penetração da área pode ou não ser considerada impeditivos para os diferentes sistemas.

Vale ressaltar ainda os valores de RMSP nas áreas de APP, PT e CF nas camadas mais profundas do solo, notou-se que houve o acréscimo quanto a RMSP conforme aumentou-se a profundidade. São as áreas onde os respectivos usos são mais antigos e pouco passaram por interferência na estrutura do solo. Tais valores, principalmente para a área de APP e CF corroboram o que outros autores, analisando a RMSP em áreas de produção silvipastoris (LIMA et al., 2013; LIMA et al., 2014) ou também áreas de floresta nativa (DALBEN; OSAKI, 2008; IBIAPINA et al., 2014) encontraram com o aumento da profundidade a partir dos 0,20 m.

4.4 CONCLUSÕES

O método do infiltrômetro de anéis concêntricos mostrou-se adequado, não demandando alto investimento e mão de obra.

Das áreas estudadas, a área de preservação permanente foi a que apresentou maior velocidade de infiltração básica e infiltração acumulada, em relação as demais áreas, seguida da integração lavoura-floresta, café e pastagem.

As áreas de semeadura direta e cana-de-açúcar tiveram menores valores de macroporosidade na camada de 0,0 a 0,10 m, assim como também ocorreu maior RMSD na superfície de ambas as áreas, influenciando diretamente na velocidade de infiltração básica e infiltração acumulada.

Apesar de não ocorrer diferença significativa na análise dos modelos empíricos Kostiakov e Kostiakov-lewis, o segundo modelo demonstrou-se mais adequado a situação, pois subestima os valores de velocidade de infiltração básica e a infiltração acumulada, fator importante pois o método do infiltrômetro de anéis concêntrico superestima os mesmos, assim, os resultados tornaram-se mais precisos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABREU, S. L.; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J. **Escarificação mecânica e biológica para a redução da compactação em Argissolo franco-arenoso sob plantio direto**. Revista Brasileira de Ciências do Solo, Campinas, v.28, n.3, p.519-531, 2004.
- ANJOS, J.T.; UBERTI, A.A.A.; VIZZOTTO, V.J.; LEITE, G.B.; KRIEGER, M. **Propriedades físicas em solos sob diferentes sistemas de uso e manejo**. Revista Brasileira de Ciências do Solo, v. 18, p. 139 - 145, 1994
- ARAUJO, M. A.; TORMENA, C. A.; SILVA, A. P. **Propriedades físicas de um Latossolo Vermelho distrófico cultivado e sob mata nativa**. Revista Brasileira de Ciências do Solo, Viçosa, v. 28, n. 2, p. 337 - 345, 2004.
- BERNARDO, S; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. 8. Ed. Atual. e Ampl. Viçosa: UFV, 2006. 625p.
- BRANDÃO, V. **Infiltração de água em solos sujeitos a encrostamento**. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola). UFV, Viçosa, 2003.
- CARVALHO, D.F., EDUARDO, E.N., ALMEIDA, W.S., SANTOS, L.A.F., ALVES SOBRINHO, T., **Water erosion and soil water infiltration in different stages of corn development and tillage systems**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental 19, 1076–1082. 2015
- COSTA, E. L.; SILVA, A. M.; COLOMBO, A.; ABREU, A. R. **Infiltração de água em solo, determinada por simulador de chuvas e pelo método dos anéis**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v. 3, n. 2, p. 131 - 134, 1999.
- COSTA, F. S.; ALBUQUERQUE, J. A.; BAYER, C.; FONTOURA, S. M. V.; WOBETO, C. **Propriedades físicas de um Latossolo Bruno afetadas pelos sistemas de plantio direto e preparo convencional**. Revista Brasileira de Ciências do Solo, Campinas, v. 27, n. 3, p. 527 - 535, 2003.
- DALBEN, A. D; OSAKI F. **Atributos físicos do solo de um cambissolo háplico em floresta nativa e de Pinus taeda**. Revista Acadêmica de Ciências Agrárias e Ambientais 2008; 6(1): 29-37.
- DERPSCH, R.; ROTH, C.; SIDIRAS, N.; KÖPKE, U. **Controle de erosão no Paraná, Brasil: Sistemas de cobertura do solo, plantio direto e preparo conservacionista do solo**. Eschborn: Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit, 1991.
- DIAS JR., M.S.; PIERCE, F.J. **O processo de compactação do solo e sua modelagem**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 20, p. 175 - 182, 1996.
- ELTZ, F. L. F.; PEIXOTO, R. T. G.; JASTER, F. **Efeitos de sistemas de preparo de solo nas propriedades físicas e químicas de um Latossolo Bruno álico**. Revista Brasileira de Ciências do Solo, Campinas, v. 13, p. 259 - 267, 1989.
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5. ed. Brasília, DF; 2018. 353 p.
- IBIAPINA, T. V. B; SALVIANO, A. A. C; NUNES, L. A. P. L; MOUSINHO, F. E. P; LIMA, M. G; SOARES, L. M. S. **Resistência à penetração e agregação de um Latossolo Amarelo sob monocultivo de soja e de eucalipto no cerrado do Piauí**. Científica 2014; 42(4): 411-418.

- IJIMA, M.; KNO, Y. **Interspecific differences of the root system structures of four cereal species as affected by soil compaction.** Japanese Journal of Crop Science, v. 60, p. 130 - 138, 1991.
- KOSTIAKOV, A. N. (1932). **On the Dynamics of the Confinement of Water Percolation in Soils and on the Necessity of Studying it from a Dynamic Point of View for Purpose of Amelioration.** Society of soil science, Russia, 14, 17-21.
- LETEY, J. **Relationship between soil physical properties and crop production.** Advances in Soil Science, v. 1, p. 277 – 294, 1985
- LIMA, R. P.; LEON, M. J.; SILVA, A. R. **Compactação do solo de diferentes classes texturais em áreas de produção de cana-de-açúcar.** Revista Ceres, v. 60, n. 1, p. 16-20, 2013.
- LIMA, R. P; LEÓN M. J; SILVA A. R. **Comparação entre dois penetrômetros na avaliação da resistência mecânica do solo à penetração.** Revista Ceres 2013; 60(4): 577-581.
- LIMA, I. M. A.; ARAÚJO, M. C; BARBOSA R. S. **Avaliação das propriedades físicas do solo em sistemas silvipastoris, região centro-norte, estado do Piauí.** ACSA – Agropecuária Científica no Semi-Árido 2014; 9(1): 117-124.
- LLANILLO, R.F; RICHART, A.; TAVARES FILHO, J.; GUIMARÃES, M.F.; FERREIRA, R.R.M. **Evolução de propriedades físicas do solo em função dos sistemas de manejo em culturas anuais.** Semina: Ciências Agrárias, Londrina, v. 27, n. 2, p. 205 - 220, 2006.
- MASLE, J.; FARQUHAR, G.D. **Effects of soil strength on the relation of water use-efficiency and growth to carbon isotope discrimination in wheat seedlings.** Plant Physiology, v. 86, p.32 - 38, 1988.
- MASLE, J.; PASSIOURA, J.B. **The effect of soil strength on the growth of young wheat plants.** Australian Journal of Plant Physiology, v. 14, p. 643 - 656, 1987.
- MEROTTO, A.; MUNDSTOCK, C.M. **Wheat root growth as affected by soil strength.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 23, p. 197 - 202, 1999.
- PANACHUKI, E.; ALVES SOBRINHO, T.; 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. 129 - 137, 2006.
- PINHEIRO, A.; TEIXEIRA, L. P.; KAUFMANN, V. **Capacidade de infiltração de água em solos sob diferentes usos e práticas de manejo agrícola.** Revista Ambiente e Água, v. 4, n. 2, p. 188 - 199, 2009.
- REIS, L. C.; SILVA, F. C. M. . Levantamento Pedológico Da Área Do Campus Da Fundação Faculdade De Agronomia Luiz Meneghel. In: **XXIV Congresso Brasileiro de Ciência do solo**, 1993, Goiânia - GO. Resumos do XXIV Congresso Brasileiro de Ciência do solo, 1993. v. II. p. 287-287.
- RICHART, A.; TAVARES FILHO, J.; BRITO, O. R.; LLANILLO, R.; FERREIRA, R. **Compactação do solo: causas e efeitos.** Semina Ciências Agrárias. V. 26, p. 321-344, Londrina 2005.
- ROTH, C.H.; MEYER, B. Infiltrabilidade de um Latossolo Roxo distrófico durante o período vegetativo da soja sob o preparo convencional, escarificação e plantio direto. In: **Congresso Brasileiro De Ciência Do Solo**, 19, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p. 101 – 102, Curitiba 1983.

- SCHOENHOLTZ, S. H.; VAN MIEGROET, H.; BURGER, J. A. **A review of chemical and physical properties as indicators of forest soil quality: challenges and opportunities.** Forest Ecology and Management, Amsterdam, v. 138, p. 335 - 356, 2000.
- SILVA, V.R.; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M. **Densidade do solo, atributos químicos e sistema radicular do milho afetados pelo pastejo e manejo do solo.** Revista Brasileira de Ciências do Solo, v. 24, p. 191 - 199, 2000.
- SINGER, M.; EWING, S. **Soil quality.** In: SUMNER, M. E. (Ed.) Handbook of soil science. Boca Raton: CRC Press, 2000. p. 271 – 298
- STEFANOSKI, D. C.; SANTOS, G. G.; MARCHÃO, R. L.; PETTER, F. A.; PACHECO, L. P. **Uso e manejo do solo e seus impactos sobre a qualidade física.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.17, p.1301-1309, 2013.
- STOLF, R., FERNADES, J., FURLANI NETO, V.L. **Penetrômetro de impacto modelo IAA/Planalsucar-Stolf: recomendação para seu uso.** STAB, Piracicaba, v.1, n.3, p.18-23, jan./fev. 1983.
- STOLF, R. **Teoria e teste experimental de fórmula de transformação dos dados de penetrômetro de impacto em resistência do solo.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, v.15, p.229-235, 1991.
- STOLF, R.; MURAKAMI, J.H.; BRUGNARO, C.; SILVA, L.G. ; SILVA, L. C. F. ; MARGARIDO, L.A.C. . **Penetrômetro de impacto Stolf - programa computacional de dados em EXCEL-VBA.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 38, p.774-782, 2014.
- STONE, L. F.; SILVEIRA, P. M. **Efeitos do sistema de preparo e da rotação de culturas na porosidade e densidade do solo.** Revista Brasileira de Ciências do Solo, Campinas, v. 25, p. 395 - 401, 2001.
- TAVARES FILHO, J. M. C.; BARBOSA, G.; GUIMARÃES, M. F.; FONSECA, I. C B. **Resistência à penetração e desenvolvimento do sistema radicular do milho (Zea mays) sob diferentes sistemas de manejo em Latossolo Roxo.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, v. 25, n. 3, p. 725 - 720, 2001.
- TAYLOR, H. M.; GARDNER, H. R. **Penetration of cotton seedlings taproots as influenced by bulk density, moisture and strength of soil.** Soil Science, Baltimore, v. 96, p. 153 - 156, 1963.
- TOPP, G. C.; REYNOLDS, W. D.; COOK, F. J.; KIRBY, J. M.; CARTER, M. R. **Physical attributes of soil quality.** In: GREGORICH, E. G.; CARTER, M. R. (Ed.) Soil quality for crop production and ecosystem health. Amsterdam: Elsevier Science, 1997. p. 21-58.
- TORMENA, C. A.; ROLOFF, G. **Dinâmica da resistência à penetração de um solo sob plantio direto.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, v. 20, p. 333 - 339, 1996.
- TORMENA, C.A.; ROLOFF, G.; SÁ, J.C.M. **Propriedades físicas do solo sob plantio direto influenciadas por calagem, preparo inicial e tráfego.** Revista Brasileira de Ciências do Solo, v. 22, p. 301 - 309, 1998
- TORRES, E.; SARAIVA, O.F. **Camadas de impedimento mecânico do solo em sistemas agrícolas com a soja.** Embrapa Soja, Circular Técnica v. 23, p 59. Londrina, 1999.
- VIEIRA, M. J. **Propriedades físicas do solo.** In: Instituto Agrônomo Do Paraná. Plantio direto no estado do Paraná. Londrina: IAPAR, n. 23. p. 19 – 32, 1981.