

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
COORDENÇÃO DE ENGENHARIA FLORESTAL
CÂMPUS DOIS VIZINHOS

LUCAS DANIEL PERIN

**ATRIBUTOS FÍSICOS DE UM NITOSSOLO VERMELHO SOB
DIFERENTES USOS EM DOIS VIZINHOS - PR**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

DOIS VIZINHOS

2015

LUCAS DANIEL PERIN

**ATRIBUTOS FÍSICOS DE UM NITOSSOLO VERMELHO SOB
DIFERENTES USOS EM DOIS VIZINHOS - PR**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II, do Curso Superior de Engenharia Florestal da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheira Florestal.

Orientador: Prof. Dr. Evandro Martin Brandelero

DOIS VIZINHOS

2015

P441a Perin, Lucas Daniel.
Atributos físicos de um nitossolo vermelho sob diferentes usos em Dois Vizinhos / Lucas Daniel Perin – Dois Vizinhos :[s.n], 2015.
45f.:il.

Orientador: Evandro Martin Brandelero
Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -
Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curso de Engenharia Florestal. Dois Vizinhos, 2015.
Bibliografia p.40-45

1.Física do solo. 2.Porosidade 3.Infiltração
I.Brandelero, Evandro Martin, orient. II.Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Dois Vizinhos.
III.Título

CDD: 631.4

Ficha catalográfica elaborada por Rosana Oliveira da Silva CRB: 9/1745

Biblioteca da UTFPR-Dois Vizinhos



TERMO DE APROVAÇÃO

ATRIBUTOS FÍSICOS DE UM NITOSSOLO VERMELHO SOB DIFERENTES USOS EM DOIS VIZINHOS – PR

por

LUCAS DANIEL PERIN

Este Trabalho de Conclusão de Curso II foi apresentado em 05 de fevereiro de 2015 como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheiro Florestal. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. Dr. Evandro Martin Brandelero
(Orientador)

Prof. Dr. André Pellegrini
(UTFPR)

Prof. Dr. Vitor Cauduro Girardelo
(UTFPR)

Dedico este trabalho à minha família, à
fiel companheira Maura Colombo, aos
meus alunos, e à mim mesmo.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus pela força e pelas bênçãos. Agradecer aos Missionários do Sagrado Coração (MSC) que durante 5 anos foram mais que minha família. Aos meus companheiros do tempo de seminário pelas conversas e ensinamentos. À Tere, pelo amor e carinho que me cuidou por 4 anos.

O que seria eu sem meus pais? À eles, Valmor e Maria de Lurdes agradeço pelo exemplo de honestidade, caráter e dedicação. Aos meus irmãos Valdinei, Luciana e Fernanda e seus (sua) companheiros (a), Cláudia, Mauri e Evandro, pela companhia, pelas histórias e pelos bons momentos vividos juntos. Aos meus sobrinhos, Mateus, Pedro, Vitor, Ana, Enzo, agradeço pela paciência que tem com o tio chato. Aos meus afilhados Vitor e David, agradeço por me deixarem mais feliz.

Em especial ao minha companheira, amiga, namorada, futura esposa e mulher incansável, Maura Colombo, obrigado por fazer os meus dias melhores.

Ao governo Federal que na figura da UTFPR prestou à mim um serviço impagável: a formação (educação) profissional. Ao meu orientador prof. Dr. Evandro Martin Brandelero que desde o primeiro contato se mostrou confiante, “pra frente”, o meu mais que obrigado! Ao prof. Dr. Vitor Girardelo, prof. Dr. André Pellegrini, Ms. Marcia Kochem pelo apoio, paciência e incansável disposição em ajudar.

Aos colegas Junior, Fernando, Charles, Tairiny, Suzamara, Jonatas, Fernanda agradeço pela ajuda na coleta de dados. Agradeço também aos servidores do DESEG e da mecanização pelo auxílio disponibilizado nos dias de coleta. Ao meu tutor prof. Dr. Eleandro José Brun e colegas petianos pelas dicas, auxílios e trabalhos no caminho da graduação. Agradeço também todos os professores e todos os meus colegas que fizeram e fazem parte da minha caminhada acadêmica.

Ao meu amigo Nicolás (pudim) por todos os momentos de citações e trabalhos feitos desde o primeiro semestre. Por fim, todos os que, de alguma forma, contribuíram nesta caminhada que chega ao fim, muito obrigada.

“Nunca se vence uma guerra lutando sozinho”.
(RAUL SEIXAS)

RESUMO

PERIN, Lucas Daniel. **ATRIBUTOS FÍSICOS DE UM NITOSSOLO VERMELHO SOB DIFERENTES USOS EM DOIS VIZINHOS** - PR. 2015. 46f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Florestal) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Dois Vizinhos, 2015.

A melhoria física do solo é importante, pois estabelece relações com a taxa de infiltração, escoamento superficial, drenagem, erosão, suprimento e armazenamento de água, de nutrientes e de oxigênio no solo. O trabalho teve como objetivo avaliar a qualidade física dos solos submetidos a diferentes usos na área experimental da UTFPR-DV. As unidades experimentais foram compostas de cinco tratamentos, sendo: Eucalipto, Pinus, Sistema Plantio Direto, Floresta Nativa e Sistema Plantio Convencional. Para as variáveis densidade, porosidade total, macroporosidade e microporosidade do solo foi realizado um delineamento experimental inteiramente casualizado, com duas repetições no esquema fatorial 5 x 5, sendo cinco profundidades (0 a 0,05, 0,05 a 0,1, 0,1 a 0,2, 0,2 a 0,3 e 0,3 a 0,4 m) e cinco usos do solo já referenciado. Para avaliar a infiltração da água no solo utilizou-se a técnica dos duplos anéis concêntricos no delineamento experimental inteiramente casualizado, com nove repetições. Constatou-se que para a variável densidade do solo os menores valores foram observados na Floresta Nativa para todas as profundidades e os maiores para o Sistema Plantio Direto até 0,2 m de profundidade. Os valores de resistência mecânica à penetração foram considerados entre baixos e médios para todos os tratamentos. Quanto à porosidade total a Floresta nativa e o Eucalipto apresentaram as maiores médias, sendo 0,68 e 0,64 $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$, respectivamente. Para a macroporosidade a Floresta Nativa se manteve com as maiores médias na camada de 0,05 – 0,4 m. Para a microporosidade observou-se médias mais baixas para o Eucalipto (0,36 $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$) e Sistema Plantio Convencional (0,35 $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$) na profundidade 0 a 0,05 m. A velocidade de infiltração de água no solo foi maior no Eucalipto com 205,64 cm h^{-1} e menor para o Sistema Plantio Convencional e Sistema Plantio Direto com 23,20 cm h^{-1} e 11,36 cm h^{-1} respectivamente. O mesmo comportamento se observou na infiltração com médias de 586,53 cm h^{-1} para o Eucalipto e 72,57 cm h^{-1} e 41,81 cm h^{-1} para o Sistema Plantio Convencional e Sistema Plantio Direto respectivamente. A Floresta Nativa e o Eucalipto apresentaram as melhores qualidades físicas do solo, seguidos pelos usos do Sistema Plantio Convencional, Pinus e Sistema Plantio Direto.

Palavras-chave: Porosidade total; Microporosidade; Macroporosidade; Infiltração.

ABSTRACT

PERIN, Lucas Daniel. **PHYSICAL ATTRIBUTES IN DIFFERENT USES OF A NITOSOL PALEUDULT IN DOIS VIZINHOS - PR.** 2015. 46f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Florestal) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Dois Vizinhos, 2015.

The improvement of physical soil is important because they establish relations with the rate of infiltration, run off, drainage, erosion, supply and storage of water, nutrients and oxygen in the soil. The study aimed to evaluate the physical quality of soils under different uses in the experimental area of UTFPR-DV. The experimental unit was composed of five treatments: Eucalyptus, Pinus, No-till System, Native Forest and Conventional Planting System. For variables density, total porosity, macroporosity and microporosity of soil was made a completely randomized design with two replications in a factorial 5 x 5, 5 depths (0 – 0,05, 0,05 – 0,1, 0,1- 0,2, 0,2 – 0,3 and 0,3 to 0,4 m), and five land uses. To evaluate the water infiltration into the soil used the technique of double concentric rings in a completely randomized design with nine replicates. It was found that for the variable soil density the lowest values were observed in the Native Forest for all depths and higher for No-till System up to 0,2 m deep. The values of penetration resistance were considered among low and medium for all treatments. The total porosity Native Forest and the Eucalyptus showed the highest values, and 0.68 and 0.64 cm³ cm⁻³ respectively. To macroporosity Native Forest remained with higher values in the depth 0,05 – 0,4 m. For microporosity observed for the lowest values Eucalyptus (0.36 cm³ cm⁻³) and Conventional Planting System (0.35 cm³ cm⁻³) the depth to 0 to 5 cm. The water infiltration rate in the soil was higher in the Eucalyptus with 205.64 cm h⁻¹ and less for the Conventional Planting System and No-till System with 23.20 cm h⁻¹ and 11.36 cm h⁻¹. The same behavior was observed in infiltration with averages of 586.53 cm h⁻¹ for the Eucalyptus and 72.57 cm h⁻¹ and 41.81 cm h⁻¹ for the Conventional Planting System and No-till System respectively. The Forest Native and the Eucalyptus showed the best physical qualities of the soil, followed by uses Conventional Tillage System, Pine and No-tillage System.

Keywords: Total Porosity; Microporosity; Macroporosity; Infiltration.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	9
1.1 OBJETIVOS	10
1.1.1 Objetivo Geral.....	10
1.1.2 Objetivos Específicos.....	11
1.2 JUSTIFICATIVA	11
2 REVISÃO DE LITERATURA	13
2.1 DENSIDADE DO SOLO E POROSIDADE TOTAL	13
2.2 RESISTÊNCIA MECÂNICA DO SOLO À PENETRAÇÃO.....	14
2.3 VELOCIDADE DE INFILTRAÇÃO E INFILTRAÇÃO DE ÁGUA NO SOLO.....	15
2.3.1 Fatores que influenciam na capacidade de infiltração de um solo.....	16
3 MATERIAL E MÉTODOS	18
3.1 LOCALIZAÇÃO DA AREA EXPERIMENTAL	18
3.2 DESCRIÇÃO DOS TRATAMENTOS	19
3.3 ANÁLISES DE PROPRIEDADES FÍSICAS.....	20
3.3.1 Densidade, porosidade total, macroporosidade e microporosidade do solo ..	20
3.3.2 Infiltração de água no solo	22
3.3.3 Resistência mecânica do solo à penetração (RP)	26
3.4 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	26
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	27
4.1 DENSIDADE E RESISTÊNCIA MECÂNICA À PENETRAÇÃO DO SOLO.....	28
4.2 MACROPOROSIDADE, MICROPOROSIDADE E POROSIDADE TOTAL	31
4.3 INFILTRAÇÃO E VELOCIDADE DE INFILTRAÇÃO DE ÁGUA DO SOLO.....	34
5 CONCLUSÃO	39
6 REFERÊNCIAS	40
ANEXOS	46

1 INTRODUÇÃO

O entendimento histórico que o homem tem para com a natureza, principalmente à partir do século XVI é de que a mesma é um presente e que o homem é capaz de manipular e controlar. Esta concepção foi acentuada no século XIX com pensadores e ideais positivistas presentes de maneira marcante no Brasil.

Na Revolução Industrial o modelo de pensamento de produção foi alterado e atualmente visa-se uma alta exploração dos recursos naturais e no uso do ar, água e solo. O uso intensivo dos recursos naturais e a pressão do crescimento populacional expõem e ampliam o desequilíbrio desta concepção da relação homem-natureza. O recurso terra é finito, frágil e não renovável. Somente 22% (3,26 bilhões de ha) do total das terras do planeta são viáveis para cultivo e atualmente somente 3% (450 milhões de ha) apresentam uma alta capacidade de produção agrícola (ESALQ, s/d, p. 2).

Nesse contexto, resgatam-se e desenvolvem-se novas concepções à respeito da relação homem e natureza. O princípio da sustentabilidade é uma concepção que revê esta relação propondo modelos novos de desenvolvimento, ações educativas, etc. Para a maior parte da população é comum notar visões fragmentadas e simplórias sobre a realidade em que vivem. Sendo assim quando se pensa em solo sua importância não é considerada. O solo não é visto como um meio complexo, um produto dinâmico constituído por quantidades variáveis de minerais, matéria orgânica, água, ar e organismos vivos.

Pedagogicamente o solo é caracterizado através de suas propriedades físicas, químicas, e biológicas. Características desejáveis pode ser a presença de atributos que beneficiam a produtividade agrícola e outras importantes funções do solo, ou a ausência de um elemento que é prejudicial para estas funções.

Os indicadores físicos assumem importância por estabelecerem relações com processos hidrológicos, tais como taxa de infiltração, escoamento superficial, drenagem e erosão. Também faz o suprimento e armazenamento de água, de nutrientes e de oxigênio no solo. Assim, a degradação das propriedades físicas do solo é um dos principais processos responsáveis pela perda da qualidade estrutural e aumento da erosão hídrica (Bertol *et al*, 2001, p. 555).

Existe atualmente uma preocupação global em se manter a qualidade do solo, não apenas em um aspecto de produtividade, mas no sentido sustentável. Desta forma é fundamental evitar a degradação. Dentre os tipos de degradação a física se refere à deterioração das propriedades físicas do solo. Dentro deste processo estão incluídos a compactação (eliminação da porosidade estrutural e o aumento na densidade do solo) e a erosão do solo (carreamento por água ou vento das camadas superficiais do solo).

A água é o constituinte com maior abundância nos tecidos dos vegetais vivos. Sua importância é enorme para todos os seres vivos. Em locais com maior frequência de chuvas e disponibilidade de água do solo, há influência direta para as fitofisionomias da região.

O homem modificou o ambiente natural em que vivia, gerando mudanças no ciclo da água na terra. Em algumas situações o homem impermeabiliza o solo, e por outras diminuiu a sua capacidade de infiltração de água. Visando diminuir os efeitos negativos de tais ações, é fundamental o conhecimento do processo de infiltração de água no solo.

À medida que se mantém a qualidade dos atributos físicos do solo, melhora-se as taxas de infiltração de água, diminuindo o escoamento superficial, a erosão, e garante o funcionamento pleno do ciclo hidrológico, pois à medida que a água infiltra no solo irá alimentar os lençóis freáticos e conseqüentemente as nascentes e os rios.

A água no solo garante o desenvolvimento de todas as culturas gerando maior produtividade. A infiltração possui importância prática, visando contribuir para a sustentabilidade do solo, das culturas e para a vida dos seres vivos.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Avaliar a qualidade física de um NITOSSOLO VERMELHO Distroférico submetido a diferentes usos na área experimental da UTFPR-DV.

1.1.2 Objetivos Específicos

Avaliar a qualidade física do solo nos diferentes usos utilizando técnicas quantitativas.

Determinar a taxa de infiltração de diferentes usos de solo.

Avaliar a densidade, porosidade total, macroporosidade, microporosidade e resistência à penetração do solo até 0,4 m de profundidade sob diferentes usos.

1.2 JUSTIFICATIVA

A cada cinco segundos, uma criança menor de dez anos morre de fome no mundo. Mais de 2,2 milhões de pessoas, em sua maioria crianças, morrem de diarreia todos os anos como resultado de acesso inadequado a fontes de água e 870 milhões de pessoas passam fome no mundo, sendo que 852 milhões delas vivem em países em desenvolvimento (FAO, 2013, s/p).

Atualmente a mídia fala em guerra da água e da comida uma vez que a população mundial tende nas próximas quatro décadas aumentar de 7 para 9 bilhões de pessoas, e no ano de 2025, 1,8 bilhão de pessoas viverão em países ou regiões com falta de água, e 2/3 da população poderão enfrentar a escassez total. (FAO, 2009, s/p). Para responder a essa demanda, a produção mundial de alimentos deve crescer cerca de 70% segundo a FAO (2009, s/p)

A safra de grãos brasileira voltou a ser recorde em 2013, acompanhando um crescimento que vêm desde os anos 2000. O Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) estima que o volume de grãos colhido fechou o ano em 186,8 milhões de toneladas, muito superior aos 100 milhões de toneladas de pouco mais de 10 anos atrás. Porém, mesmo com este cenário favorável de produtividade agrícola brasileira, este crescimento gradual não será suficiente para acompanhar o aumento da demanda por alimentos, já que em 2030 serão 8.321 bilhões de pessoas (GLOBAL AGRIBUSINESS, 2014, s/p).

Segundo a FAO (2009, s/p) 25% das terras aráveis do mundo está altamente degradada, 8 % está moderadamente degradada e 36% ligeiramente degradada ou

estável, e apenas 10% está melhorando. A determinação dos atributos físicos do solo é de suma importância para que se possa fazer um bom manejo em busca da sustentabilidade. Quanto mais conhecimento da situação atual do solo, melhor será a tomada de decisão para provocar mudanças que aumente a sua qualidade.

2 REVISÃO DE LITERATURA

A estrutura do solo é considerada atualmente como um indicador de qualidade do solo, por influenciar processos como retenção e infiltração de água, susceptibilidade à erosão, aeração, atividade microbiana, dentre outros. Diferentes usos e manejos do solo alteram seus atributos físicos. Entre esses atributos, destacam-se a densidade do solo, a porosidade, a resistência mecânica à penetração, a estabilidade de agregados e a infiltração de água no solo.

2.1 DENSIDADE DO SOLO E POROSIDADE TOTAL

A densidade de solo é uma propriedade relevante na avaliação dos solos. Isso se dá, pois, está estritamente ligada à estrutura, à densidade de partícula, à textura e à porosidade do solo. Desta forma, a densidade é indicadora de processos de degradação da estrutura do solo, que pode mudar em função do uso e do manejo do solo (VIANA, 2008, p. 1).

A densidade do solo é definida como a relação existente entre a massa e o volume ocupado pelas partículas e pelos. Geralmente, quanto mais elevada for a densidade do solo, maior será sua compactação e a estrutura degradada, menor sua porosidade total e, por conseguinte, maiores serão as limitações para o crescimento do sistema radicular e desenvolvimento das plantas.

A determinação da densidade dos horizontes de um perfil de solo permite avaliar certas propriedades, como a drenagem, porosidade, condutividade hidráulica, permeabilidade ao ar e à água, capacidade de saturação, armazenamento de água e água disponível. Solos manejados de maneira inadequada favorecem o surgimento de camadas compactadas diminui o volume de poros e o diminuem as taxas de infiltração de água. Com isso há um aumento das taxas de escoamento superficial e erosão (Bertol *et al*, 2001, p. 559).

O arranjo das partículas sólidas do solo, em diferentes formas de agregados, constitui a estrutura do solo, que apresenta entre estas partículas, a porosidade.

Segundo Curi *et al.* (1993, p. 15), a porosidade do solo corresponde ao volume do solo que as partículas sólidas não ocupam, ou seja, espaço vazio de partículas sólidas que é ocupado pelo ar e água. A porosidade total indica a fração do volume do solo ocupada pelos poros. Este volume é a porosidade total do solo e subdivide-se em macroporos e microporos.

Segundo Beutler e Centurion (2003, p. 587), a quantidade de macroporos influencia diretamente no crescimento das raízes, na absorção de água e de nutrientes, e sua redução induz ao crescimento lateral de raízes com diâmetros menores visando penetrar em poros menores nas camadas superiores do solo. Hatano *et al.* (1988 *apud* RICHARDT *et al.*, 2005, p. 333) afirmam que existe maior crescimento de raízes onde há maior número e continuidade de macroporos.

Para Tormena, Silva e Libardi (1998b, p. 578), valores de macroporosidade restritivos para as plantas estão na faixa entre 0,09 a 0,12 m³ m⁻³, podendo abaixo disso, diminuir a infiltração de água no solo. Já Cockrooft e Olsson (1997, p. 341) consideram limites críticos de 0,10 a 0,15 m³ m⁻³. A macroporosidade é geralmente encontrado entre as estruturas do solo e tem como funções a drenagem da água gravitacional, difusão de gases, acomoda raízes e é habitat para a fauna edáfica.

Segundo EMBRAPA (1997, p. 25), macroporos tem volume maior ou igual é a 0,05 mm de diâmetro, sendo os poros menores que estes considerados microporos (EMBRAPA, 1997, p. 23). A microporosidade está relacionada com o armazenamento de água no solo, influenciando o desenvolvimento das plantas. Em solo compactado, a quantidade de macroporos é reduzido e os microporos são em maior quantidade (JIMENEZ *et al.*, 2008, p. 120).

2.2 RESISTÊNCIA MECÂNICA DO SOLO À PENETRAÇÃO

A resistência mecânica está intimamente ligada à dureza. A resistência mecânica do solo à penetração é um dos fatores limitantes para o desenvolvimento de culturas, pois ela expressa o grau de compactação do solo (RICHARDT *et al.*, 2005, p. 333).

A resistência mecânica que o solo oferece à penetração é expressa pelo índice do cone (IC) e é utilizada para caracterizar propriedades físicas e mecânicas

do solo. A determinação do IC feita por penetrômetros estáticos eletrônicos não deve exceder a velocidade de 30 mm s^{-1} . São parâmetros importantes para a determinação da resistência mecânica à penetração, a densidade e o conteúdo de água umidade do solo. A densidade tem relação direta com a resistência e a umidade tem influencia negativa sobre a resistência (TORMENA; SILVA; LIBARDI, 1998, 577).

A resistência mecânica à penetração é um processo importante no conhecimento dos atributos físicos do solo, pois possibilita indicar compactação do solo em certos limites críticos. Nestas condições, o solo diminui a quantidade de água disponível e as raízes das plantas apresentam diminuição do diâmetro para penetrar poros pequenos. Assim a resistência mecânica do solo estimula a proliferação de raízes laterais (mais finas) diminuindo o volume de solo explorado, a quantidade de ar, água e nutrientes disponíveis (GENRO JUNIOR *et al.*, 2009, 71).

Segundo BENEDETTI (2010, p. 5), os valores de umidade do solo indicam uma tendência inversa à resistência do solo à penetração. Blainski *et al* (2008, p. 982) apontam que a variação de umidade do solo apresenta maior influência sobre a resistência do solo à penetração, sendo por vezes utilizada como estratégia para a manutenção da resistência do solo à penetração abaixo do limite restritivo ao crescimento e desenvolvimento das plantas.

2.3 VELOCIDADE DE INFILTRAÇÃO E INFILTRAÇÃO DE ÁGUA NO SOLO

Infiltração é o nome dado ao processo que define a entrada da água no solo e determina quanto de água penetra no solo e quanto escoar superficialmente. O uso do solo exerce significativa influência sobre a infiltração e por meio do manejo integrado de bacias hidrográficas, baseados em técnicas conservacionistas de solo e água, pode-se modificar a capacidade de infiltração de um determinado solo (LIMA, 2008, p. 110). Ou seja, é um processo que depende fundamentalmente da água disponível para infiltrar, do tipo de solo, das condições de uso da sua superfície e da quantidade de água e ar inicialmente presentes no seu interior (MANCUSO *et al.*, 2014, p. 2891).

Santos e Pereira (2013, p. 64) citam que a textura e a estrutura do solo são as características responsáveis pela maior influência do solo sobre a infiltração. A textura refere-se à quantidade de areia, silte e argila contidos no solo, enquanto a estrutura é influenciada pelo arranjo destes componentes. A estruturação do solo é quem irá definir a distribuição e tamanho dos poros.

Segundo Horton (1940, p. 401), a taxa de infiltração de um solo é definida como sendo a capacidade máxima com que um dado solo, em determinadas condições, pode absorver água em um determinado tempo. A velocidade de infiltração (VI) ou taxa de infiltração representa a taxa de entrada de água no interior do solo. A capacidade de infiltração só é atingida durante uma chuva se houver excesso de precipitação, caso contrário, a taxa de infiltração da água do solo não é máxima, se igualando à capacidade de infiltração. Já a velocidade de infiltração ou taxa de infiltração de água no solo é a lâmina de água que passa penetra no solo, ou seja, um volume de água por uma unidade de área em um determinado tempo (CARVALHO; SILVA, 2006, p. 62).

A infiltração ou capacidade de infiltração apresenta magnitude alta no início do processo e com o passar do tempo atinge um valor aproximadamente constante. Esse valor obtido no final do processo é também conhecido como velocidade de infiltração básica (VIB). Na determinação da taxa de infiltração também ocorre a diminuição da taxa com o passar do tempo, chegando-se a um valor quase constante, característico de cada tipo de solo (CARVALHO; SILVA, 2006, p. 60).

O estudo da taxa de infiltração é fundamental para a elaboração de um projeto de irrigação que tem por objetivo obter maior rendimento das culturas. A infiltração é uma das mais importantes das propriedades físicas do solo quando se estudam fenômenos que estão ligados ao movimento de água (CARVALLO, 2000, p. 112). O conhecimento da taxa de infiltração é muito importante também para quantificar a parcela da precipitação que não irá infiltrar no solo, a qual ocasionará escoamento superficial.

2.3.1 Fatores que influenciam na capacidade de infiltração de um solo

A infiltração de água no solo é diretamente influenciada por características do solo, porém existem outros fatores que também influenciam como: condições de uso da superfície do solo, umidade inicial do solo, temperatura, presença de fendas ou rachaduras na superfície do solo ou canais oriundos de raízes ou pela fauna do solo, a compactação do solo por máquinas ou animais e fundamentalmente a cobertura e manejo do solo (CARVALHO; SILVA, 2006, p. 68).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 LOCALIZAÇÃO DA AREA EXPERIMENTAL

O trabalho foi realizado na área experimental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus de Dois Vizinhos, localizada na mesorregião do Sudoeste do Paraná, na latitude de 25°42'S e longitude de 53°06'W com altitude média de 509 m. O clima da região é do tipo subtropical úmido mesotérmico, Cfa – com verão quente, sem estação seca definida, com temperatura média do mês mais frio inferior a 18°C e o mês mais quente acima de 22°C. Nos meses de junho, julho e agosto há frio com geadas ocorrentes. A umidade relativa do ar varia em média de 64 a 74% e a precipitação pluviométrica está entre 1.800 a 2.200 mm ano⁻¹. Os solos predominantes do Sudoeste do Paraná são classificados como LATOSSOLO VERMELHO e NITOSSOLO VERMELHO (ALVAREZ et al, 2014, p.717).

O solo da área experimental é classificado como NITOSSOLO VERMELHO Distroférico de acordo com EMBRAPA (2007, p.1). Estes solos são solos profundos ou de profundidade média, bem drenados, com textura argilosa ou muito argilosa ao longo do perfil e reduzido gradiente textural. São solos com boas condições físicas. Apresentam como principais limitações a baixa saturação por bases e, no caso de relevo ondulado, a suscetibilidade à erosão e a presença de pedregosidade e rochiosidade (EMBRAPA, s/d, p.1).

Quanto à vegetação, apresenta fragmentos de floresta nativa, a qual originalmente cobria praticamente todo o território do sudoeste do Paraná. A vegetação florestal do município classifica-se como Floresta Estacional Semidecidual, a qual, em função de variações de altitude, apresenta-se, em muitos pontos, em ecótono com a Floresta Ombrófila Mista, principalmente em altitudes superiores a 500 m (IBGE, 2004, s/p).

3.2 DESCRIÇÃO DOS TRATAMENTOS

Quanto aos diferentes usos do solo no experimento abaixo segue uma descrição e um breve histórico sobre as áreas.

- Floresta Nativa (FN): A Floresta estudada é uma vegetação secundária em estágio médio de desenvolvimento e é classificada fitogeograficamente como Floresta Estacional Semidecidual em transição para Floresta Ombrófila Mista. A área tem como histórico desde a chegada da Universidade a regeneração da floresta, uma vez que antigos proprietários fizeram a retirada das árvores mais grossas e com maior valor econômico.
- Eucalipto (EU) e Pinus (PI): Os talhões estudados foram implantados no mês de setembro de 2002. Anterior à implantação florestal a área era utilizada para plantio agrícola em Sistema de Plantio Direto desde 1998. Os talhões foram implantados em um espaçamento de 2 x 2m e sofreram desrama e desbaste. Estas áreas são utilizadas para cursos e aulas práticas.
- Sistema Plantio Direto (PD): A área estudada é um Plantio Direto consolidado há 16 anos. Frequentemente as espécies cultivadas no verão são milho e soja e durante o inverno é utilizado aveia ou trigo. A área tem topografia ondulada e sistema de curvas de nível. Durante o levantamento a área estava sendo cultivada com soja.
- Sistema Plantio Convencional (PC): A área estudada pode ser considerado um plantio em transição para o direto. No final do inverno de 2011 a área foi gradeada e escarificada a cerca de 35 cm de profundidade para plantio manual de cana de açúcar. Em agosto de 2014 houve um gradeamento a 20 cm de profundidade e em outubro do mesmo ano foi realizada uma aplicação de herbicida e plantio de soja.

3.3 ANÁLISES DE PROPRIEDADES FÍSICAS

3.3.1 Densidade, porosidade total, macroporosidade e microporosidade do solo

Avaliou-se a densidade, porosidade total, macroporosidade microporosidade seguindo a metodologia proposta pela Embrapa (1997, p. 15 – 25) no delineamento experimental inteiramente casualizado, com duas repetições no esquema fatorial 5 x 5, sendo 5 camadas do solo (0 a 0,05, 0,05 a 0,1, 0,1 a 0,2, 0,2 a 0,3 e 0,3 a 0,4 m) e 5 diferentes usos do solo: Floresta Nativa, Eucalipto, Pinus, Sistema Plantio Direto e Sistema Plantio Convencional.

As coletas de solos foram realizadas nos dias 4 e 5 de dezembro. Os anéis tem cerca de 3 cm de altura e foram posicionados nas profundidades medianas entre os limites de cada amostra, de tal modo na profundidade de 0 a 0,05 o anel foi cravado na posição de 0,01 a 0,04 m; de 0,05 a 0,1 o anel foi cravado de 0,06 a 0,09 m; de 0,1 a 0,2 o anel foi cravado a 0,135 a 0,165 m; de 0,2 a 0,3 o anel coletou solo de 0,235 a 0,265 m; de 0,3 a 0,4 o anel coletou solo de 0,335 a 0,365 m.

As amostras indeformadas foram preparadas com um estilete, retirando o excesso de solo, e com atilhos (conjunto de pano de voal e elástico de borracha) para acomodação em bandeja. Após todas as coletas realizadas as amostras foram encaminhadas ao laboratório de solos da UTFPR-DV e durante 48 horas as amostras foram saturadas com água e pesadas obtendo-se assim o peso saturado de cada amostra (P_{sat}). Em seguida, foram acomodadas na mesa de tensão e deixadas por 48 horas sob uma tensão de 0,6 m de coluna de água. Quando retiradas da mesa de tensão as amostras foram pesadas, obtendo-se o peso pós mesa de tensão (P_{mt}) e o peso dos atilhos. Subtraindo o peso saturado da amostra com o peso pós mesa de tensão (P_{mt} adicionado à diferença entre os atilhos úmidos e os atilhos molhados [1,8g]) obteve-se o volume de água drenada após as amostras ser submetidas a uma mesa de tensão de 0,6 m de coluna de água livre em cada amostra (V_{ad}).

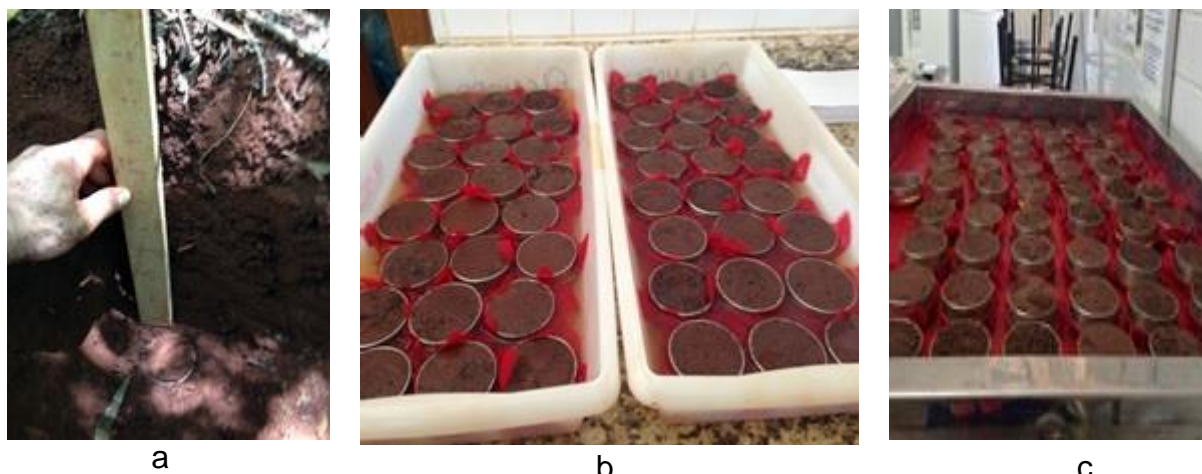


Figura 1: (a): Medição com gabarito e coleta de amostra indeformada de solo. (b): Amostras no laboratório de solos saturadas após 48 h. (c): Amostras de solo acomodadas em mesa de tensão à 0,6 m.

Fonte: O autor, 2014.

As amostras foram transferidas para latas de secagem previamente pesadas e identificadas e levadas a estufa de circulação de ar forçada em temperatura de 105°C. Depois de 48 horas as amostras foram retiradas da estufa e pesadas obtendo-se assim o peso seco da amostra (P_{seco}). Os anéis de coleta foram lavados e pesados. Por fim, os anéis foram medidos com paquímetro para cálculo do volume individuais (Vol).

Os valores de densidade aparente de cada amostra foram calculados pela equação:

$$D_s = \frac{P_{seco}}{Vol}$$

Onde:

D_s = densidade aparente do solo ($g \cdot cm^{-3}$)

P_{seco} = peso da amostra seca a 105°C (g).

Vol = volume do anel (cm^3).

Para calcular a porosidade total utilizou-se a seguinte fórmula:

$$Porosidade\ total = \frac{(V_{ad})}{Vol}$$

Onde:

V_{ad} = volume da água drenada evaporada após amostra ser submetida a uma tensão de 0,6 m de coluna de água e seca em estufa a 105°C (cm^3).

Vol = volume do anel (cm^3).

Para os cálculos de microporosidade das amostras aplicou-se:

$$\text{Microporosidade} = \frac{(P_{mt} - P_{seco})}{Vol}$$

Onde:

P_{mt} = peso da amostra após ser submetida a uma tensão de 0,6 m de coluna de água (g).

P_{seco} = peso da amostra seca a 105°C (g).

Vol = volume do anel (cm³).

Com esses valores utilizou-se uma subtração simples da porosidade total pela microporosidade e chegou-se ao valor da macroporosidade para cada uso do solo e profundidade.

3.3.2 Infiltração de água no solo

A avaliação da infiltração da água no solo utilizou-se a técnica dos duplos anéis, cravados no solo de maneira concêntrica, conforme proposto por Bernardo, Soares e Montavani (2006, p. 247) no delineamento experimental inteiramente casualizado, com nove repetições. Avaliou-se 5 diferentes usos do solo: Floresta Nativa, Eucalipto, Pinus, Sistema Plantio Direto e Sistema Plantio Convencional.

As avaliações de infiltração de água no solo foram realizadas nos dias 14 e 15 de dezembro de 2014. A metodologia de duplo anel consiste de um conjunto de dois anéis concêntricos, o primeiro com 0,2 m e o segundo com 0,4 m de diâmetro, respectivamente, cravados a uma profundidade aproximada de 0,1 m. Foram realizadas 9 repetições por tratamento.

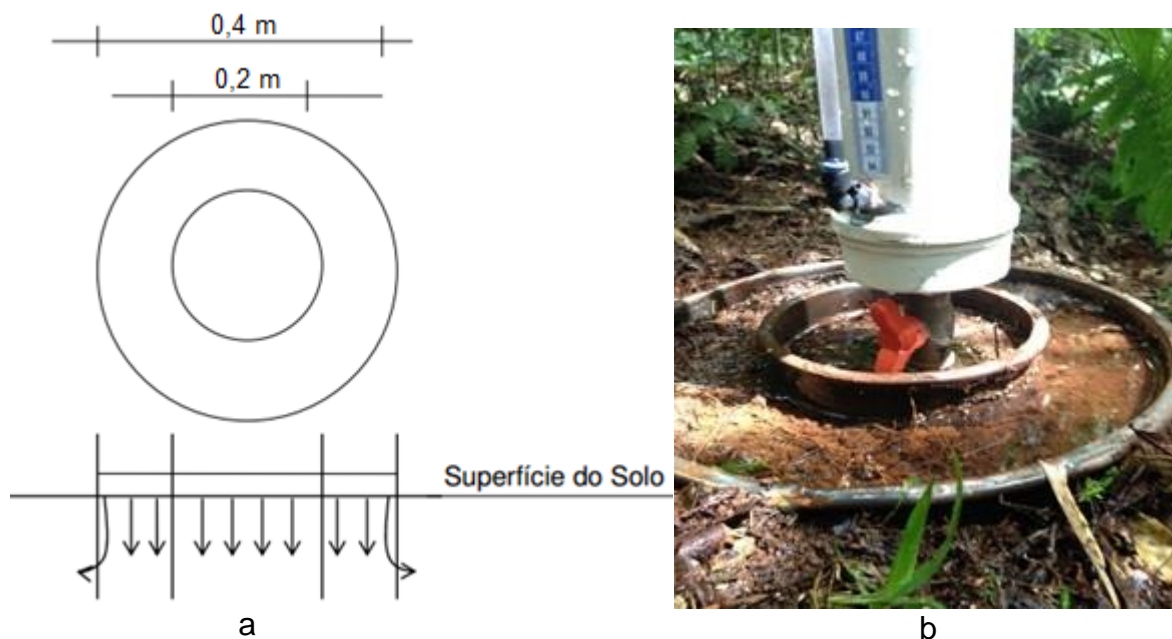


Figura 2: (a) Desenho esquemático do infiltrômetro de duplo anel concêntrico e (b) infiltrômetro de duplo anel com lâmina de água.
 Fonte: (a) CARVALHO; SILVA, 2006. (b) O autor, 2014.

O reservatório de água confeccionado com um cano de PVC com tripé para fixação no solo possui uma graduação em centímetros, onde foi realizada a leitura e determinação da quantidade de água infiltrada no anel interno, no qual foi mantido uma lâmina de água média de 0,03 m. Esta lâmina também foi mantida também no anel externo de forma manual, tendo esta a finalidade de evitar a dispersão lateral de água, minimizando as perdas laterais de água no momento das leituras. As leituras foram realizadas nos tempos 0, 5, 10, 15, 20, 30, 45, 60, 90 e 120 minutos do início do teste. Cada centímetro no reservatório equivale a 81 mm de água.



Figura 3: Avaliação de infiltração de água no solo nos usos: (a) PC, (b) PD, (c) EU e (d) FN.
Fonte: O autor, 2014.

A velocidade de infiltração é dada pela variação entre duas leituras consecutivas, de acordo com o intervalo de tempo. O ajuste dos dados de infiltração de água no solo foi feito segundo a equação de Kostiakov (CARVALHO; SILVA, 2006, p. 72):

$$I = kt^a$$

Onde:

I: infiltração acumulada (cm h^{-1}).

a e k: parâmetros estatísticos que dependem do solo e de suas condições iniciais (adimensionais).

t: tempo de infiltração (min).

A equação de velocidade de infiltração foi determinada por equação potencial, pela expressão (CARVALHO; SILVA, 2006, p. 72):

$$VI = 60ant^{n-1}$$

Onde:

VI: velocidade de infiltração (cm h^{-1}).

a e n: parâmetros estatísticos que dependem do solo e de suas condições iniciais (adimensionais).

t - tempo de infiltração (min).

Nos dias de coleta de dados com os infiltrômetros de anel foi determinada a umidade que o solo se encontrava. Foram realizadas duas repetições em cada tratamento nas profundidades 0 – 0,1 e 0,1 – 0,2 m. As amostras foram acondicionadas em sacos plásticos e fechadas com fita adesiva para que o solo não perdesse a umidade. No final do dia de coleta, as amostras foram levadas ao laboratório de solos e foram pesados com balança analítica obtendo-se o peso úmido das amostras (P_u). Em seguida foram deixadas para secar em estufa à 105°C por 48 horas. Após isso, foram pesadas obtendo-se o peso seco (P_s) de cada amostra.

$$U = 100 * \frac{P_u - P_s}{P_s}$$

Onde:

U: umidade do solo (%).

P_u : peso úmido (g).

P_s : peso seco (g).

Para os valores de Velocidade de Infiltração Básica foi utilizada a classificação a seguir:

Quadro 1: Classificação da Velocidade de Infiltração Básica (VIB)

Tipo de solo	VIB (cm h^{-1})
Solo de VIB muito alta	> 3,0
Solo de VIB alta	1,5 – 3,0
Solo de VIB média	0,5 – 1,5
Solo de VIB baixa	< 0,5

Fonte: Bernardo (2006).

3.3.3 Resistência mecânica do solo à penetração (RP)

Em cada tratamento, foram realizadas 10 medições de resistência à penetração do solo no dia 16 de dezembro. A RP foi obtida com uso de um penetrômetro eletrônico de solo marca Penetrolog, fabricado pela empresa Falker Automação Agrícola, a uma profundidade de 0,6 cm. Como os primeiros valores de um levantamento de RP são zerados, uma vez que o cone ultrapassou a placa e não atingiu a camada superficial do solo, estes valores foram descartados. Assim, foi considerado o primeiro valor diferente de zero como o início da leitura. Visando uniformizar as leituras foi considerada a profundidade 0,5 m como o limite das medições. Para a umidade foram utilizados os dados coletados no momento da avaliação da infiltração de água no solo.

Taylor et al. (1966, p. 21) apontam que valores de RP acima de 2,0 MPa são impeditivos ao crescimento e funcionamento do sistema radicular e vem sendo usado frequentemente como valor crítico para o crescimento das plantas (TORMENA *et al.*, 1998b), (BLAINSKI *et al.*, 2008).

3.4 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E ANÁLISE ESTATÍSTICA

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado. Os dados foram coletados e digitalizados em planilha eletrônica Excel[®]. Os dados foram submetidos à análise da variância pelo teste F e quando houve diferença significativa a 1 e 5% de probabilidade de erro, suas médias foram comparadas entre si pelo teste de Tukey a 5% utilizando o software estatístico ASSISTAT[®] (SILVA; AZEVEDO, 2002, s/p).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As umidades gravimétricas do solo em cada tratamento e nas camadas 0 - 0,1 e 0,1 – 0,2 m no momento da avaliação da infiltração e resistência mecânica à penetração estão descritos na tabela 1. Houve significância apenas para o fator profundidade (Anexo 1).

Tabela 1: Médias da umidade (%) em relação às variáveis usos e profundidade do solo.

Variável	Médias	
Usos		
EU	28,57	a
PI	32,67	a
PD	32,65	a
FN	32,00	a
PC	31,05	a
DMS ^z	4,47	
Camadas (m)		
0 – 0,1	30,18	b
0,1 – 0,2	32,60	a
DMS ^z	1,91	
CV (%)	6,12	

^z: Diferença mínima significativa. EU: Eucalipto; PI: Pinus; PD: Sistema Plantio Direto; FN: Floresta Nativa; PC: Sistema Plantio Convencional. Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e letra maiúscula na linha não diferiram entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Fonte: O autor, 2015.

Não houve diferença estatística entre os tratamentos, o que demonstra que não houve efeito da umidade inicial do solo na determinação da infiltração de água no solo e da RP. Houve diferença estatística quanto às profundidades analisadas, sendo menor na camada 0 – 0,1 m. Isso possivelmente se deve a drenagem da água da camada superficial para inferior, assim como pela maior perda de água na superfície pela evapotranspiração.

A umidade é inversamente proporcional à RP e a infiltração de água no solo. Dessa forma, um solo seco apresenta maior resistência se comparado a um solo úmido como indicam Iori, Dias Junior e Silva (2012, p. 190), e um solo úmido terá menor taxa de infiltração e mais rapidamente ela se tornará constante (BRANDÃO *et al.* 2009, p. 24). Araújo Filho e Ribeiro (1996, p. 368) observaram que há uma redução de cerca de 30% na taxa de infiltração quando a avaliação é feita em solo úmido e não em solo seco.

4.1 DENSIDADE E RESISTÊNCIA MECÂNICA À PENETRAÇÃO DO SOLO

Na tabela 2 pode-se observar que para as análises de variância, tanto para o uso do solo quanto a profundidade os resultados foram significativos para todas as variáveis, sendo elas: densidade do solo, macroporosidade e microporosidade. Já para a porosidade total não foi significativo o resultado para a interação entre o uso e a profundidade do solo. Ou seja, a quantidade de poros nas diferentes profundidades não apresentou diferença significativa para os tratamentos.

Tabela 2: Síntese de análise de variância dos fatores Uso (1) e Profundidade (2) das variáveis Densidade do solo (Ds), Macroporosidade (Ma), Microporosidade (Mi) e Porosidade total (Pt).

Fv	Ds	Ma	Mi	Pt
Uso (F1)	21,79 **	19,30 **	7,72 **	7,66 **
Profundidade (F2)	14,02 **	21,39 **	10,94 **	6,18 **
Int. F1xF2	2,68 *	3,03 **	4,34 **	1,09 ns
Tratamentos	7,75 **	8,80 **	6,00 **	3,03 **

** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < .01$). * significativo ao nível de 5% de probabilidade ($.01 \leq p < .05$). ns não significativo ($p \geq .05$) e $p = 0.0000$ significa $p < 0.0001$.
Fonte: O autor, 2015.

Os valores médios de densidade do solo nas diferentes profundidades e usos estão apresentados na tabela 3.

Tabela 3: Interação das médias de Densidade do Solo (Ds) em relação aos diferentes usos e camadas.

Usos	Densidade do solo (g cm^{-3})					DMS ^z
	Camadas (m)					
	0 – 0,05	0,05 – 0,1	0,1 – 0,2	0,2 – 0,3	0,3 – 0,4	
EU	1,03 b B	1,10 ab AB	1,19 a AB	1,24 a A	1,18 a AB	0,17
PI	1,04 ab B	1,21 a AB	1,24 a A	1,13 ab AB	1,06 ab B	
PD	1,20 a A	1,21 a A	1,23 a A	1,18 ab AB	1,00 b B	
FN	0,81 c B	1,01 b A	0,98 b A	1,05 b A	0,95 b AB	
PC	0,88 bc B	1,06 ab A	1,12 ab A	1,13 ab A	1,05 ab AB	
DMS ^z	0,17					

^z: Diferença mínima significativa. CV(%) = 5,33. EU: Eucalipto; PI: Pinus; PD: Sistema Plantio Direto; FN: Floresta Nativa; PC: Sistema Plantio Convencional. Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e letra maiúscula na linha não diferiram entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.
Fonte: O autor, 2015.

Os valores médios de densidade no solo nos usos EU e PI se mostraram estatisticamente iguais, assim como para os tratamentos FN e PC, sendo estes os que apresentaram os menores valores de densidade em relação às camadas, com exceção do PC na camada de 0,3 – 0,4 m.

Para o caso da floresta nativa, isso pode ser explicado pela maior concentração de matéria orgânica no solo, podendo ser considerado um solo de

maior teor orgânico pelo acúmulo de serapilheira, devido ao longo período de ciclagem de nutrientes dentro da floresta (CARLESSO; ZIMMERMANN, 2000, p. 34). A FN foi quem apresentou menores valores de densidade para todas as profundidades, assim como observado por Benedetti (2010, p. 6).

O PC apresenta alta macroporosidade na camada de 0 a 5 cm, e também apresenta baixa densidade nesta camada, o que pode ser consequência do revolvimento da camada superficial do solo. Colet (2006, p. 65) observou em seu estudo, em Latossolo, que a escarificação a 0,25 m de profundidade aumentou a macroporosidade na profundidade 0 – 0,1 m e não afetou a mesma nas demais profundidades.

O valor mais baixo de densidade entre os tratamentos foi na camada superficial da FN. Os valores mais altos de densidades entre os tratamentos foram nas camadas de 0 – 0,05 e 0,05 – 0,1 m para o tratamento PD e nas camadas 0,1 – 0,2 e 0,2 – 0,3 m nos tratamentos PI e EU respectivamente.

O PD apresenta as maiores densidades quando analisada a profundidade 0 – 0,1 m, não apresentando diferença estatística para as camadas de até 0,3 m. De 0 a 0,05 m, o tratamento se diferencia estatisticamente dos demais. De 0,05 a 0,1 m, o PD se diferencia apenas da FN, este com o menor valor de densidade. Os valores de maior densidade nas camadas mais superficiais para o PD pode ser explicados como uma consequência do tráfego de maquinário pesado e do não revolvimento da camada superficial por um longo período de tempo, fato este também observado por Pott (2001, p. 27) em estudo realizado no Estado de São Paulo em LATOSSOLO VERMELHO. Também, pode-se observar que no PD houve aumento da densidade do solo até a profundidade de 20 cm, o que também foi observado por Tormenta, Roloff e Sá (1998a, p. 307) possivelmente pela ação mecânica das máquinas agrícolas.

Os valores de densidade para solos argilosos variam de 0,9 a 1,7 g cm⁻³. Observa-se que todos os usos do solo em todas as profundidades estudadas, que os valores de densidade se encontram abaixo de 1,45 g cm⁻³, sendo este uma densidade que já oferece restrição ao crescimento radicular das plantas (REINERT; REICHERT, 2008, p. 8).

A figura 4 mostra os valores médios de 10 repetições quanto à resistência mecânica à penetração do solo.

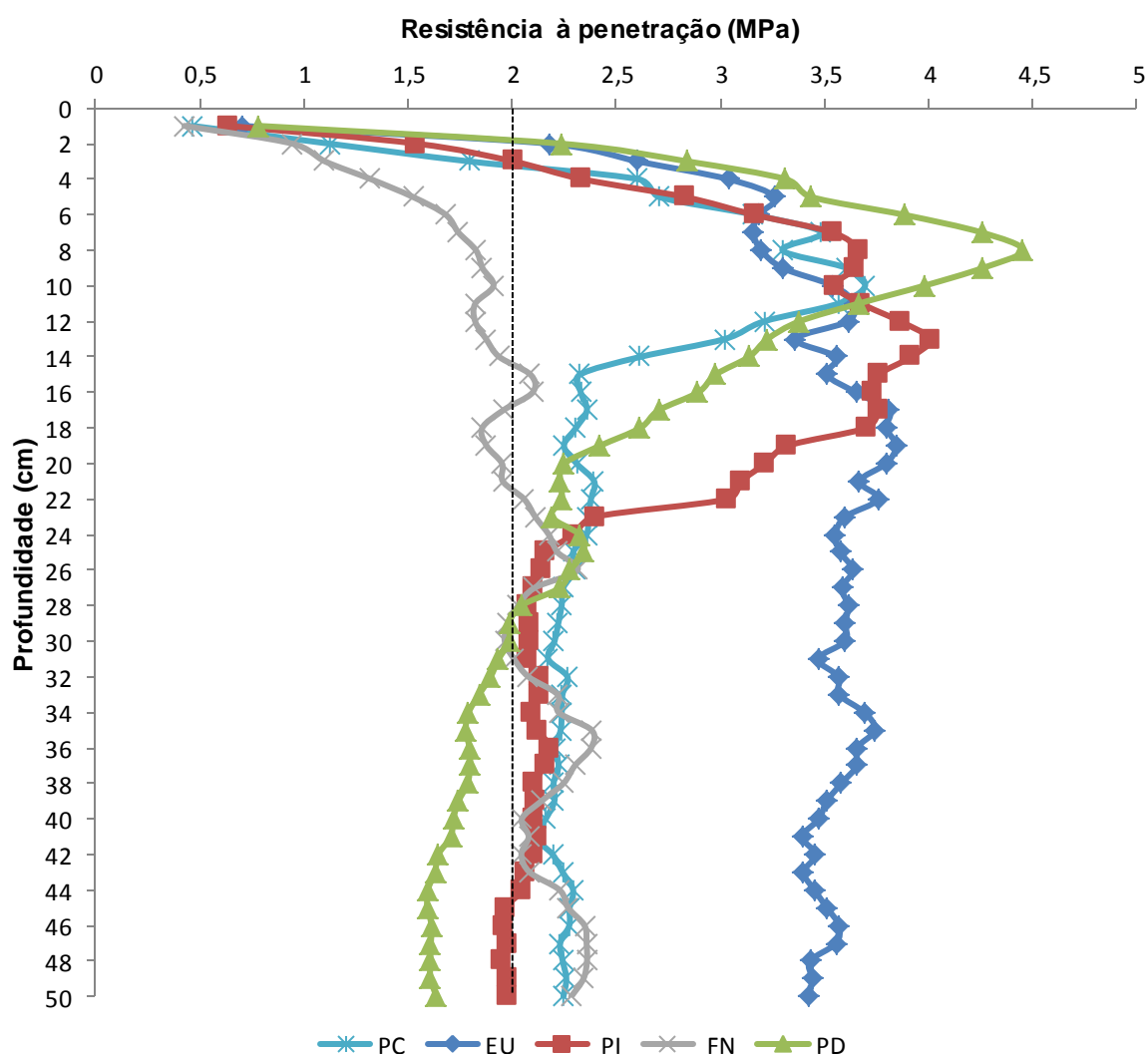


Figura 04: Resistência mecânica à penetração de um NITOSSOLO VERMELHO sob diferentes usos, sendo: PC – Sistema Plantio Convencional; EU – Eucalipto; PI – Pinus; FN – Floresta Nativa; PD – Sistema Plantio Direto.

Fonte: O autor, 2015.

Todos os usos para a unidade avaliada neste estudo têm camadas com valores de RP restritivos ao desenvolvimento radicular das espécies (TAYLOR *et al.*, 1966, p. 21). A camada 0,1 – 0,2 m no PI apresenta uma alta nos valores de RP do tratamento e apresenta o maior valor de densidade do tratamento como observado na tabela 3.

A FN apresentou os menores valores de RP até 0,24 m. Além disso, foi o tratamento que apresentou valores de RP 2,35 MPa. Isso pode estar relacionado à matéria orgânica que estrutura o solo, reduzindo os valores de densidade do solo (tabela 3) e aumentando a macroporosidade.

O EU na camada 0,1 a 0,5 cm apresentou valores de RP acima de 3,4 MPa. A densidade do solo para o EU se manteve mais elevada nas profundidades de 0,2

a 0,3 (1,24 g cm⁻³) e 0,3 a 0,4 m (1,18 g cm⁻³), o que pode ter influenciado nos valores de RP. Um modelo de regressão linear foi definido por Beltrame et al. (1981, p. 148) para avaliação da resistência do solo à penetração no campo como variável da densidade do solo e umidade volumétrica para um LATOSSOLO VERMELHO-Escuro com um coeficiente de correlação de 0,90, evidenciando a relação entre as três variáveis estudadas.

O PD tem valores de resistência à penetração na camada 0,03 - 0,18 m acima de 2,5 MPa, apresentando também os maiores valores de densidade nas profundidades 0 – 0,05 (1,20 g cm⁻³) e 0,1 – 0,2 m (1,21 g cm⁻³). O PD na profundidade 0,08 m apresentou o maior valor médio de RP. Beutler et al. (2001, p. 173 – 174) atribuiu o aumento da RP ao tráfego de máquinas em estudo com um Sistema de Plantio Direto. Isso também explica os valores mais altos de RP nesta camada para este estudo, uma vez que houve serviços de colheita, plantio e aplicação de herbicida na área estudada.

4.2 MACROPOROSIDADE, MICROPOROSIDADE E POROSIDADE TOTAL

A tabela 4 apresenta os valores médios de porosidade total para os diferentes usos e as profundidades uma vez que não há estatisticamente interação entre estes fatores.

Tabela 4: Médias da porosidade total (Pt) em relação às variáveis usos e camadas do solo.

Variável	Médias (cm ³ cm ⁻³)
Usos	
EU	0,64 ab
PI	0,62 b
PD	0,59 b
FN	0,68 a
PC	0,63 b
Camadas (m)	
0 – 0,05	0,68 a
0,05 – 0,1	0,64 ab
0,1 – 0,2	0,62 b
0,2 – 0,3	0,60 b
0,3 – 0,4	0,63 ab
DMS ^z	0,05

^z: Diferença mínima significativa. EU: Eucalipto; PI: Pinus; PD: Sistema Plantio Direto; FN: Floresta Nativa; PC: Sistema Plantio Convencional. Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e letra maiúscula na linha não diferiram entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Fonte: O autor, 2015.

Araújo, Tormena e Silva (2004, p. 341), trabalhando com Floresta Nativa (Floresta Estacional Semidecidual) e com solo cultivado com culturas anuais em um Sistema Plantio Convencional de 20 anos afirmam que os valores de macroporos e de porosidade total do solo foram significativamente menores no solo cultivado em comparação com os do solo sob mata nativa.

Os maiores valores de porosidade total estão na camada 0 – 0,05 m. Esta é igual estatisticamente às profundidades 0,05 – 0,1 e 0,3 – 0,4 m. Com exceção à primeira, as demais profundidades estudadas são iguais. Valores próximos foram encontrados por Costa (1999, p. 133), em LATOSSOLO ROXO com valores de porosidade de $0,62 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ para profundidade até 20 cm e de $0,63 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ para a profundidade de 20 a 40 cm. Em estudo realizado por Sales (1999, p. 2093) também foram encontrados valores semelhantes com porosidade total de $0,62 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ para um LATOSSOLO VERMELHO.

A tabela a seguir mostra os valores médios encontrados e o teste de Tukey a 5% para a variável macroporosidade nos usos e camadas avaliadas.

Tabela 5: Interação das médias da Macroporosidade (Ma) e Microporosidade (Mi) em relação aos diferentes usos e camadas.

Usos	Camadas (m)					DMS ^z
	0 – 0,05	0,05 – 0,1	0,1 – 0,2	0,2 – 0,3	0,3 – 0,4	
Macroporosidade ($\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$)						
EU	0,28 ab A	0,27 a A	0,22 a AB	0,11 b C	0,13 a BC	0,10
PI	0,22 bc A	0,14 bc AB	0,16 ab AB	0,11 b B	0,12 a B	
PD	0,14 c A	0,12 c A	0,08 b A	0,09 b A	0,18 a A	
FN	0,33 a A	0,23 ab AB	0,23 a AB	0,22 a B	0,22 a B	
PC	0,35 a A	0,21 abc B	0,16 ab BC	0,11 b C	0,18 a BC	
DMS ^z	0,10					
CV(%)	19,07					
Microporosidade ($\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$)						
EU	0,36 b C	0,39 b C	0,43 a BC	0,50 a A	0,49 a AB	0,07
PI	0,43 a A	0,46 a A	0,46 a A	0,49 a A	0,48 a A	
PD	0,48 a A	0,46 a A	0,48 a A	0,50 a A	0,46 a A	
FN	0,43 a AB	0,46 a A	0,44 a AB	0,39 b B	0,45 a AB	
PC	0,35 b B	0,43 ab A	0,45 a A	0,47 a A	0,46 a A	
DMS ^z	0,07					
CV(%)	5,13					

^z: Diferença mínima significativa. EU: Eucalipto; PI: Pinus; PD: Sistema Plantio Direto; FN: Floresta Nativa; PC: Sistema Plantio Convencional. Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e letra maiúscula na linha não diferiram entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Fonte: O autor, 2015.

Os maiores valores de macroporosidade estão na profundidade 0 – 0,05 m de todos os tratamentos estudados, sendo o EU, FN e PC os tratamentos que apresentaram as maiores médias nesta profundidade, sendo estatisticamente iguais.

No uso FN pode-se observar os maiores valores de macroporosidade em todas as profundidades, exceto na primeira, onde o PC se destaca devido ao revolvimento da camada superficial do solo apresentando o maior valor de macroporosidade. A FN conta com a ação de raízes, insetos e minhocas que favorecem a formação de macroporos no solo (POTT, 2001, p. 28). Outro fator que se relaciona com a macroporosidade do solo é a densidade, e na tabela 3, pode-se observar que a FN se mantém os menores valores de densidade em todas as profundidades além de valores de baixa RP (Figura 4). A FN apresentou os maiores valores de porosidade total (tabela 4) e macroporosidade (tabela 5) para a profundidade 0,10 a 0,4 m, possivelmente devido à baixa interferência pelo homem no sistema.

Wendling *et al.* (2012, p. 260) em um reflorestamento de Pinus de 32 anos plantados em LATOSSOLO VERMELHO, observou valores de macroporosidade de 0,28 e 0,17 $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ nas profundidades 0 – 0,1 e 0,1 – 0,2 m respectivamente, sendo os resultados próximos dos valores encontrados.

O PD não apresentou diferença estatística nos valores de macroporosidade em relação às diferentes profundidades estudadas. Pode-se observar que o PD apresenta menor valor de macroporosidade até a profundidade 0,3 m. Em estudo realizado por Wendling *et al.* (2012, p. 260) o PD também foi o uso do solo com menores valores de macroporosidade com 0,03 e 0,05 $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ para as profundidades 0 – 0,1 e 0,1 – 0,2 m respectivamente.

Nas camadas 0,1 a 0,3 m, o PD têm valores de macroporosidade abaixo de 0,1 $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$, o que segundo Fernandes (2008, p. 94) é um valor mínimo que indica restrição do desenvolvimento radicular das plantas em NITOSSOLO VERMELHO. Tormena, Silva e Libardi (1998b, p. 578), afirmam que os valores de macroporosidade restritivos para as plantas estão na faixa entre 0,09 a 0,12 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ o que indica restrição da camada 0,05 a 0,3 m. Levando em consideração o estudo de Cockrooft e Olsson (1997, p. 341), pode-se afirmar que até a profundidade 0,3 m há restrição de crescimento para as plantas.

Pode-se observar que na microporosidade o PC e o EU apresentam os menores valores de microporos na profundidade de 0 a 5 cm diferindo-se dos demais tratamentos. Todavia, estes tratamentos apresentaram valores estatisticamente iguais de macroporosidade (tabela 5) e de porosidade total (tabela 4).

O EU também apresenta os menores valores de microporosidade na camada 0,05 – 0,1 sendo igual ao PC e se diferenciando dos demais tratamentos. Valores semelhantes para microporosidade foram encontrados por Veiga (2005, p. 22), em Sistema de Plantio Convencional, com valores de 0,39, 0,47, 0,49 e 0,47 $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ para as camadas 0 – 0,05, 0,05 – 0,1, 0,12 – 0,17 e 0,27 – 0,32 m, diferenciando estatisticamente dos demais na camada 0 – 0,05 m.

Nas camadas 0,1 – 0,2 e 0,3 – 0,4 m não há diferença estatística entre os diferentes tratamentos. Na camada 0,2 – 0,3 m, a FN apresentou o menor valor de microporosidade diferenciando estatisticamente dos demais tratamentos. Porém os valores de macroporosidade para a profundidade 0,1 – 0,2 m foram os maiores entre os tratamentos (tabela 5) e a porosidade total (tabela 4) para o uso foi o maior valor encontrado.

4.3 INFILTRAÇÃO E VELOCIDADE DE INFILTRAÇÃO DE ÁGUA DO SOLO

A tabela a seguir mostra que existe significância para as variáveis velocidade de infiltração e infiltração de água no solo em relação aos diferentes usos.

Tabela 6: Síntese de análise de variância da Velocidade de Infiltração (VI) (cm h^{-1}) e Infiltração (I) (cm) de água no solo.

	F-crit	F
VI	3,83	54,22 **
I	3,83	59,51 **

** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < .01$). * significativo ao nível de 5% de probabilidade ($.01 \leq p < .05$). ns não significativo ($p \geq .05$) e $p = 0.0000$ significa $p < 0.0001$.

Fonte: O autor, 2015.

A tabela 7 apresenta os valores de Velocidade de Infiltração para os usos do solo estudados.

Tabela 7: Médias de Velocidade de Infiltração (VI) (cm h⁻¹) e Infiltração (I) (cm) em relação aos diferentes usos.

Usos	Médias
Velocidade de infiltração	
EU	205,64 a
PI	71,98 c
PD	11,36 d
FN	119,67 b
PC	23,20 d
DMS ^z	43,51
CV(%)	37,41
Infiltração Básica	
EU	586,53 a
PI	234,92 b
PD	41,81 c
FN	320,93 b
PC	72,57 c
DMS ^z	115,13
CV(%)	34,01

^z: Diferença mínima significativa. EU: Eucalipto; PI: Pinus; PD: Sistema Plantio Direto; FN: Floresta Nativa; PC: Sistema Plantio Convencional. Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e letra maiúscula na linha não diferiram entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Fonte: O autor, 2015

O EU se diferenciou estatisticamente dos demais com maior valor de VI. O PD apresentou menor valor de VI apresentando médias 95% abaixo se comparado com o tratamento EU. Percebe-se que os usos florestais apresentaram as maiores médias de velocidade de infiltração. Segundo Mendonça (2001, p. 98) a VI é maior em áreas de floresta preservada do que em áreas de vegetação antropizada. Além do mais, as raízes das árvores ajudam a manter o solo coeso, reduzindo o transporte de sedimentos por enxurradas mesmo em áreas de grande declividade.

Em estudo realizado por Costenaro, Maffia e Dias (2009, p. 153), em fragmento de mata nativa em estágio avançado, em Viçosa, foi observado valor de VI superior a 600 cm h⁻¹ para a primeira hora de avaliação e valores próximos a 500 cm h⁻¹ para a segunda hora de avaliação. Estes valores são maiores que o EU e maiores do que FN, tal fato pode estar relacionado com o estágio avançado de desenvolvimento da floresta estudada pelos autores, uma vez que quanto maior o porte da floresta, maior o volume de raízes e matéria orgânica no solo, o que aumenta a capacidade de infiltração de água no solo.

Quanto à infiltração, nota-se que os usos florestais tiveram as maiores médias, sendo o EU o uso que apresentou as maiores médias de infiltração com 586,53 cm h⁻¹, sendo diferente estatisticamente dos demais usos. A FN e o PI

apresentam os segundos maiores valores com 320,93 e 234,92 cm h⁻¹ respectivamente.

SATO (2012, p. 192) encontrou valores de infiltração de água no solo, em Sistema Plantio Direto, de 37,18 cm h⁻¹, o que se assemelha aos resultados obtidos neste trabalho. Assis; Lanças (2005, p. 520), em estudo realizado em NITOSSOLO VERMELHO no estado de São Paulo, obteve valores de infiltração, para o Sistema de Plantio Direto de 12 anos, de 37,46 cm h⁻¹, valor semelhante ao encontrado no presente estudo.

Segundo Carlesso e Zimmermann (2000, p. 52) o Sistema de Plantio Convencional do solo provoca destruição da estrutura natural da camada arável causando menor infiltração de água no solo. Neste estudo a infiltração do PC comparada com o estudo de Cruz *et al.* (2003 p. 1111) é alta, devido ao fato que o solo está com baixa densidade (tabela 3) e apresenta valores altos de macroporosidade (tabela 5). Já Assis; Lanças (2005, p. 520) encontraram valor de infiltração de 83,50 mm h⁻¹ para o Sistema Plantio Convencional com densidade do solo e porosidade total com valores próximos aos deste estudo.

A figura 5 mostra a taxa de infiltração instantânea obtidos nos cinco usos do solo estudados.

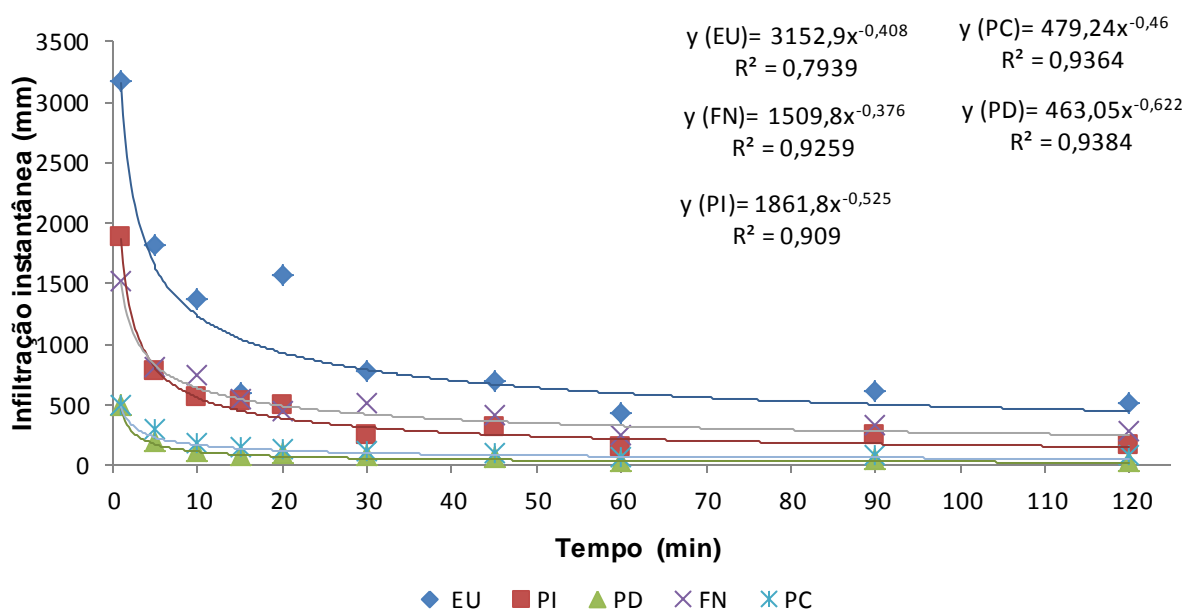


Figura 5: Taxa de infiltração (mm h⁻¹) de um NITOSSOLO VERMELHO em diferentes usos de acordo com o tempo (minutos). EU: Eucalipto; PI: Pinus; PD: Sistema Plantio Direto; FN: Floresta Nativa; PC: Sistema Plantio Convencional.

Fonte: O autor, 2015.

A diferença entre os tratamentos também se verificou na taxa inicial de infiltração. A menor taxa de infiltração inicial ocorreu no PD e PC ($47,9 \text{ cm h}^{-1}$) seguida da FN ($150,9 \text{ cm h}^{-1}$), PI ($186,1 \text{ cm h}^{-1}$) e do EU ($315,2 \text{ mm h}^{-1}$). Cruz *et al.* (2003 p. 1111) encontraram velocidade de infiltração inicial em Sistema Plantio Direto e Sistema Plantio Convencional de $28,8 \text{ cm h}^{-1}$ e $32,4 \text{ cm h}^{-1}$ respectivamente. Todavia o solo estudado pelos autores apresentava maior densidade, menores valores de porosidade total, microporosidade e macroporosidade nas profundidades 0 – 0,1 e 0,1 – 0,2 m. Já Carvalho (2011, p. 39) encontrou em estudo com eucalipto em LATOSSOLO em área de reforma de 3,2 anos, infiltração de 220 cm h^{-1} com densidade do solo na camada 0 – 0,1m de $1,06 \text{ g cm}^{-3}$ e valores RP próximos deste estudo.

A figura 6 mostra os resultados de infiltração acumulada dos cinco usos do solo estudados após 120 minutos de avaliação.

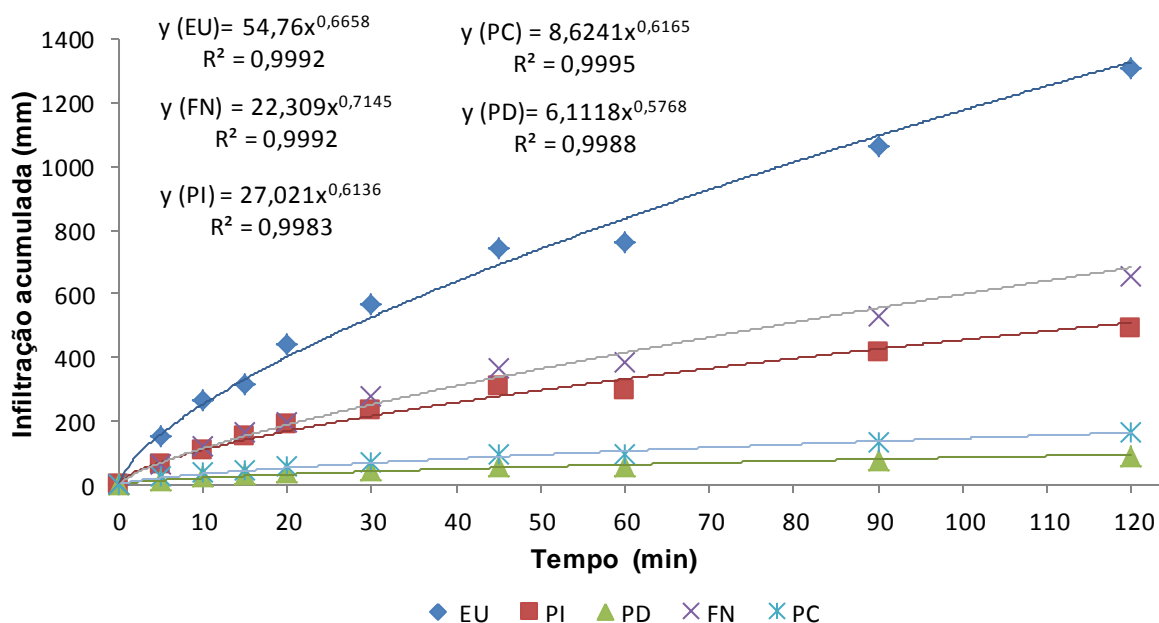


Figura 6: Infiltração acumulada (mm) de um NITOSSOLO VERMELHO em diferentes usos de acordo com o tempo (minutos). EU: Eucalipto; PI: Pinus; PD: Sistema Plantio Direto; FN: Floresta Nativa; PC: Sistema Plantio Convencional.

Fonte: O autor, 2015.

A infiltração acumulada foi maior no EU (130,7 cm), seguido pela FN (65,5 cm), PI (48,9 cm), PC (16,6 cm) e PD (8,9 cm). Dessa forma, pode-se perceber que o EU apresenta o maior volume de água infiltrada em um mesmo tempo, quando comparado com os demais usos de solo estudados. Isso significa menor risco de erosão e menor escoamento superficial conforme observou Carvalho (2011, p.34) em estudo com talhões de eucalipto em Felixlândia (MG).

A maior infiltração de água no EU se deve ao fato de apresentar boa porosidade total, sendo igual estatisticamente à FN, e valores iguais assim como para a porosidade total na camada 0 a 0,2 m. A FN apresentou os melhores indicativos de porosidade total, macroporosidade, densidade, resistência mecânica à penetração do solo e a segunda melhor média de velocidade de infiltração e infiltração de água no solo.

As menores médias de velocidade de infiltração e infiltração foram verificadas no tratamento PD, devido a maior compactação e maiores valores de RP na camada 0 a 0,1 m, além dos menores valores de macroporosidade na camada 0 a 0,3 m e menores valores de porosidade total para os tratamentos. Isso indica que a macroporosidade, densidade e RP propiciam melhorias na qualidade física do solo. O PD piorou a macroporosidade do solo em relação à FN em 51,2% enquanto que o EU diminuiu 17,9% de macroporosidade quando comparada à FN.

Tabela 8: Médias de velocidade de infiltração básica após 120 minutos de avaliação.

USOS	VIB (cm h⁻¹)
EU	50,07
PI	15,35
PD	2,23
FN	26,53
PC	7,16

EU: Eucalipto; PI: Pinus; PD: Sistema Plantio Direto; FN: Floresta Nativa; PC: Sistema Plantio Convencional.

Fonte: O autor, 2015.

Os valores de VIB para os usos EU, PI, FN e PC são classificados como muito alta, enquanto que para o uso PD é classificado como alta. Os valores dos usos florestais apresentam maior VIB do que os cultivos anuais. Possivelmente o uso PD poderia apresentar escoamento superficial devido ter limitação na infiltração (tabela 8), quando houvesse uma chuva com intensidade maior que 2,23 cm h⁻¹.

5 CONCLUSÃO

- Os usos Floresta Nativa e Eucalipto apresentaram os melhores indicadores de qualidades físicas do solo por apresentarem boa porosidade total, macroporosidade, velocidade de infiltração e infiltração de água no solo;

- A ordem da qualidade física do solo quando comparado com a Floresta Nativa é a seguinte: Eucalipto, Sistema Plantio Convencional, Pinus, e Sistema Plantio Direto.

- O Sistema Plantio Direto apresentou os piores indicadores de qualidade física. Recomenda-se manejos como a rotação de cultura, menor tráfego de máquinas agrícolas e incremento de palhada no solo.

A macroporosidade no Sistema Plantio Direto apresentou valores restritivos ao desenvolvimento de raízes de plantas para o solo estudado.

- Os valores de infiltração e velocidade de infiltração são considerados muito altos para os tratamentos com exceção do Sistema Plantio Direto que possui alta infiltração e velocidade de infiltração. As maiores médias para a infiltração foram encontradas nos usos florestais em comparação com os cultivos agrícolas.

6 REFERÊNCIAS

ALVARES, Clayton Alcarde et al. Köppe's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**. V. 22, n. 6, p. 711-728. Jan. 2014. 717 p.

ARAÚJO FILHO, J. C.; RIBEIRO, M. R. Infiltração de água em cambissolos do baixo Irecê (BA). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 20, p. 363 – 370, 1996.

ARAÚJO, M. A.; TORMENA, C. A.; SILVA, A. P. Propriedades físicas de um Latossolo Vermelho distrófico cultivado e sob mata nativa. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 2, Mar./Apr., 2004, p. 337 – 345.

ASSIS, Renato Lara de and LANCAS, Kléber Pereira. Avaliação dos atributos físicos de um Nitossolo Vermelho distroférico sob sistema plantio direto. preparo convencional e mata nativa. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. 2005, vol.29, n.4, p. 515-522.

BELTRAME, L.F.S.; GONDIN, L.A.P. & TAYLOR, J.C. Estrutura e compactação na permeabilidade de solos do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.05, p. 145-149, 1981.

BENEDETTI, Marcelo Muniz et al. Resistência do solo à penetração em um latossolo vermelho distrófico típico sob diferentes usos. **ENCICLOPEDIA BIOSFERA**, Centro Científico Conhecer - Goiânia, vol.6, N.11; 2010, p. 9.

BERNARDO, Salassier; SOARES, Antonio Alves.; MANTOVANI, Everardo Chartuni. **Manual de irrigação**. 8. Ed. Atual. e Ampl. Viçosa: UFV, 2006. 625p.

BERTOL, Ildergaris; BEUTLER, Josué Fernando; LEITE, Dirceu; BATISTELA, Odair Propriedades físicas de um cambissolo húmico afetadas pelo tipo de manejo do solo. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.58, n.3, p.555-560, 2001.

BEUTLER, Amauri Nelson; CENTURION, José Frederico. Compactação do solo no desenvolvimento radicular e na produtividade de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.39, p.581-588, 2004.

BEUTLER, Amauri Nelson; SILVA, M. L. N.; CURTI, N.; FERREIRA, M. M.; CRUZ, L. C.; PEREIRA FILHO, I. A. Resistência à penetração e permeabilidade de Latossolo

Vermelho Distrófico Típico sob sistemas de manejo na região dos cerrados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, p. 167-177, 2001.

BLAINSKI, Everton; TORMENA, Cássio Antônio; FIDALSKI, Jonez; GUIMARÃES, Rachel Muylaert Locks. Quantificação da degradação física do solo por meio da curva de resistência do solo à penetração. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, p. 975-983, 2008.

BRANDÃO, Viviane dos Santos; CECÍLIO, Roberto Avelino; PRUSKI, Fernando Falco. SILVA, Demetrius. David da. **Infiltração da água no solo**. 3.ed. Viçosa: UFV, 2009. 120p.

CARVALHO, Ana Paula Vilela. **Recarga de água no solo na Bacia Hidrográfica do Riacho Fundo, Felixlândia-MG**. 2011. 61f. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, 2011.

CARVALHO, Daniel Fonseca; SILVA, Leonardo Duarte B. **Hidrologia**. Rio de Janeiro: UFRRJ, cap. 5, ago. 2006, p. 60-80.

CARVALLO, H.O.G. **Física dos solos**. 1 ed. Campina Grande: UFPB, 2000. 173p.

COLET, M. J. **Alteração de atributos físicos de um solo, sob pastagem degradada, submetido à escarificação**. 2006. 79 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2006.

COSTA, Édio Luiz; SILVA, Antonio Marciano; COLOMBO, Alberto; ABREU, Agostinho. 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. 1999, p.131-134.

COSTENARO, Tatiana Canazza; MAFFIA, Vanessa Pataro; DIAS, Herley Carlos T. Capacidade de Infiltração de água no solo em um fragmento de Mata Atlântica no município de Viçosa, MG. **Anais: II Seminário de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Paraíba do Sul: Recuperação de Áreas Degradadas, Serviços Ambientais e Sustentabilidade**, Taubaté, IPABHi. Dez 2009, p. 149-156.

CURI, Nilton; LARACH, Jorge Oimos Iturri; KAMPF, Nestor; MONIZ, Antonio Carlos. **Vocabulário de ciência do solo**. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1993. p. 90.

COCKROOFT, B; OLSSON, K. A. Case study of soil quality in south-eastern Australia: management of structure for roots in duplex soils. In: GREGORICH, E. G.; CARTER, M. R. (Ed.). **Soil quality for crop production and ecosystem health developments in soil science**. New York: Elsevier, 1997. p. 339-350.

FONTES, Luiz Eduardo Ferreira. **Vocabulário da ciência do solo**, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, 1993, 90p.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de Métodos de Análise de Solo**, 2ª ed. rev.atual.- Rio de Janeiro, 1997. 212p.

_____. **Levantamento de reconhecimento dos solos do sudoeste do Paraná**, 2007. Disponível em: < <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/339505/16/MI511.pdf>>. Acesso em 05 de janeiro de 2015.

_____. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília: Serviço de Produção da Informação; Rio de Janeiro, EMBRAPA Solos, 1999.

_____. **Solos Tropicais**. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/solos_tropicais/arvore/CONT000fzyjaywi02wx5ok0q43a0r9rz3uhk.html>. Acesso em: 10 de dezembro de 2014.

ESALQ. Apostila: **Recuperação dos solos**. S/d. Disponível em: <<http://www.esalq.usp.br/gerd/Recuperacao/APOSTILA-Recup%20de%20Solos.pdf>> Acesso em 02/12/2014.

FAO - Organização das Nações Unidas para a Alimentação e Agricultura. **Agriculture, food and nutrition in postemergency and rehabilitation**. 2013. Disponível em: <<http://www.fao.org/docrep/003/V5611E/V5611E05.htm>>. Acesso em: 11/12/2014

_____. **Dia mundial da água**. Disponível em: < <https://www.fao.org.br/h2o.asp> >. Acesso em: 10/12/2014.

_____. **FAO DISCUTE DEMANDA MUNDIAL POR ALIMENTOS**. Disponível em: < <https://www.fao.org.br/FAOddma.asp>>. Acesso em: 10/12/2014.

FERNANDES, Jairo Costa. **Avaliação de sistemas de manejo em Nitossolo Vermelho Distroférico e na cultura de Girassol**. 2008. 173f. Tese (Doutorado). Universidade Estadual Paulista. Botucatu. 2008

GENRO JUNIOR, Silvio Aymone; REINERT, Dalvan José; REICHERT, José Miguel; ALBUQUERQUE, Jackson Adriano. Atributos físicos de um Latossolo vermelho e produtividade de culturas cultivadas em sucessão e rotação. **Ciência Rural**, Universidade Federal de Santa Maria, RS, v. 39, n.01, p.65-73, 2009.

GLOBAL AGRIBUSINESS. FORUM 2014. **Apesar da safra recorde em 2013, crescimento agrícola ainda não supre demanda mundial por alimentos**. Disponível em: < <http://www.globalagribusinessforum.com/apesar-da-safra-recorde-em-2013-crescimento-agricola-ainda-nao-supre-demanda-mundial-por-alimentos-3/>>. Acesso em: 12/12/2014.

HORTON, Robert. E., 1940. **An approach toward a physical interpretation of infiltration capacity**. Soil Science Society of America Proc., 5: 399-417.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Mapa de vegetação do Brasil**. Brasília: IBGE, 2004.

IORI, Piero. DIAS; JUNIOR, Moacir de Souza; SILVA, Reginaldo Barboza. Resistência do solo à penetração e ao cisalhamento em diversos usos do solo em áreas de preservação permanente. **Biosci. J.**, Uberlândia, v. 28, p. 185-195, 2012

JIMENEZ, Rodrigo L.; GONÇALVES, Wainer G.; ARAÚJO FILHO, Jerônimo V.; ASSIS, Renato L.; PIRES, Fábio R.; SILVA, Gilson P. Crescimento de plantas de cobertura sob diferentes níveis de compactação em um latossolo vermelho. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, UFCG, v.12, n.2. p.116-121, 2008.

LIMA, Walter. Paula. **Hidrologia Florestal Aplicada ao Manejo de Bacias Hidrográficas**. 2 ed. Piracicaba-SP. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 2008. 253p.

MANCUSO, Malva Andrea.; FLORES, Bruno Acosta.; ROSA, Genésio Mário. SCHROEDER, Joseane K.; PRETTO, Pablo Ricardo P. Características da taxa de infiltração e densidade do solo em distintos tipos de cobertura de solo em zona urbana. **Revista Monografias Ambientais**, Santa Maria, v. 14, n.1, Edição Especial p. 2890–2998, fev, 2014.

MENDONÇA, Luiz Alberto Ribeiro. **Recursos hídricos da Chapada do Araripe**. 2001. 350f. Tese (Doutorado) - Centro de Tecnologia da Universidade Federal do Ceará, Fortaleza. 2001.

POTT, Cristiano André; MARIA, Isabella Clerici. Comparação de métodos de campo para determinação da velocidade de infiltração básica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v.27, p.19-27, 2003.

REINERT, Dalvan José. REICHERT, José Miguel. **Propriedades físicas do solo**. Universidade Federal de Santa Maria. Centro de Ciências Rurais. Santa Maria, 2008. 18p.

RICHARDT, Alfredo; TAVARES FILHO, João; BRITO, Osmar Rodrigues; LANILLO, Rafael Fuentes.; FERREIRA, Rogério Compactação de solo: Causas e efeitos. **Ciências Agrárias**, Londrina, v. 26, n. 3, p. 321-344, 2005.

SALES, Luís Eduardo de Oliveira et al. Estimativa da velocidade de infiltração básica do solo. **Revista Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v.34, n.11. Nov. 1999, p. 2091-2095.

SANTOS, José Nascimento.; PEREIRA, Ediléia Dutra. Carta de susceptibilidade a infiltração da água no solo na sub-bacia do rio Maracanã-MA. **Cadernos de Pesquisa**, São Luís, v. 20, n. especial, julho 2013.

SATO, Juliana H. et al. Matéria orgânica e infiltração da água em solo sob consórcio milho e forrageiras. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, v.16, n.2. 2012, p. 189-193.

SILVA, F. de A. S; AZEVEDO, C. A. V. Versão do programa computacional Assistat para o sistema operacional Windows. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v.4, n.1, p 71-78, 2002.

TAYLOR, Howard M.; ROBERSON, Gene M. & PARKER Jr., Jessie J. Soil strength-root penetration relations to medium to coarse textured soil materials. **Soil Science**, v. 102, p. 18 - 22, 1966.

TORMENA, Cássio Antonio; ROLOFF, G.; SÁ, J. C. M. Propriedades físicas do solo sob plantio direto influenciadas por calagem, preparo inicial e tráfego. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.22, p.301-309, 1998a.

TORMENA, Cássio Antonio; SILVA, A.P.; LIBARDI, P.L. Caracterização do intervalo hídrico ótimo de um latossolo roxo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 22, 573-581, 1998b.

VEIGA, Milton. **Propriedades de um nitossolo vermelho após nove anos de uso de sistemas de manejo e efeito sobre culturas**. 2005. 110 f. Tese (Doutorado). Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2005.

VIANA, João Herbert Moreira. **Determinação de densidade de solos e de horizontes cascalhentos**. Sete Lagoas: Embrapa, 2008. 11p. (Comunicado Técnico, 154).

VILLELA, S.M. MATTOS, A. **Hidrologia aplicada**. São Paulo, McGraw-Hill, 1975. 245p.

WENDLING, Beno et al. Densidade, agregação e porosidade do solo em áreas de conversão do cerrado em floresta de pinus, pastagem e plantio direto. **Biosci. J.**, Uberlândia, v. 28, Mar. 2012, p. 256-265.

ANEXOS

Segue abaixo os dados do experimento fatorial para a umidade do solo, realizados nos cinco tratamentos e em duas profundidades.

Tabela 10: Síntese de análise de variância dos fatores Uso (1) e Profundidade (2) para a umidade do solo.

	Fv	F-crit	F
Uso (F1)		11,65	3,16 ns
Profundidade (F2)		29,28	7,93 *
Int. F1xF2		5,35	0,36 ns
Tratamentos		81,23	2,45 ns

** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < .01$). * significativo ao nível de 5% de probabilidade ($.01 \leq p < .05$). ns não significativo ($p \geq .05$) e $p = 0.0000$ significa $p < 0.0001$.

Fonte: O autor, 2015.

Pode-se observar que para os diferentes usos estudados e para a interação uso e profundidade que não houve significância ao nível de 5% de probabilidade para a umidade. Houve significância para as diferentes profundidades.

Tabela 11: Umidade gravimétrica em diferentes usos do solo no momento da avaliação da infiltração da água do solo.

Uso do solo	Repetição	Profundidade(cm)	Umidade (%)	Média (%)
EU	1	0 a 10	28,4	27,8
	2	0 a 10	27,3	
	1	10 a 20	29,9	29,3
	2	10 a 20	28,7	
PI	1	0 a 10	31,5	31,3
	2	0 a 10	31,1	
	1	10 a 20	32,3	34,0
	2	10 a 20	35,8	
PD	1	0 a 10	32,4	31,8
	2	0 a 10	31,1	
	1	10 a 20	34,3	33,5
	2	10 a 20	32,8	
FN	1	0 a 10	28,1	31,1
	2	0 a 10	34,1	
	1	10 a 20	31,4	32,9
	2	10 a 20	34,4	
PC	1	0 a 10	29,6	28,9
	2	0 a 10	28,2	
	1	10 a 20	34,6	33,2
	2	10 a 20	31,8	

EU: Eucalipto; PI: Pinus; PD: Sistema Plantio Direto; FN: Floresta Nativa; PC: Sistema Plantio Convencional.

Fonte: O autor, 2015.