

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
CÂMPUS DOIS VIZINHOS  
CURSO DE AGRONOMIA

RODRIGO FURINI GUGEL

**ÍNDICE S PARA AVALIAÇÃO DA QUALIDADE FÍSICA DE UM  
NITOSSOLO SOB DIFERENTES USOS E MANEJOS**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO II

DOIS VIZINHOS  
2018

RODRIGO FURINI GUGEL

**ÍNDICE S PARA AVALIAÇÃO DA QUALIDADE FÍSICA DE UM  
NITOSSOLO SOB DIFERENTES USOS E MANEJOS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II, do curso Superior de Agronomia da Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR, como requisito parcial para obtenção do título de ENGENHEIRO AGRÔNOMO.

Orientador: Prof. Dr. André Pellegrini

DOIS VIZINHOS  
2018



## **TERMO DE APROVAÇÃO**

### **ÍNDICES PARA AVALIAÇÃO DA QUALIDADE FÍSICA DE UM NITOSSOLO SOB DIFERENTES USOS E MANEJOS**

por

**RODRIGO FURINI GUGEL**

Este Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) foi apresentado em 20 de Novembro de 2018 como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheiro Agrônomo. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

---

Prof.(a) Orientador(a)  
André Pellegrini  
UTFPR-DV

---

Membro titular  
Leandro Alves Freitas  
UTFPR-PB

---

Membro titular  
Fabiana Luiza Matielo de Paula  
UTFPR-DV

---

Responsável pelos Trabalhos  
de Conclusão de Curso  
Angélica Signor Mendes

---

Coordenador(a) do Curso  
Lucas da Silva Domingues  
UTFPR – Dois Vizinhos

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente a Deus pelo dom da vida, pelas oportunidades, por todas as graças recebidas e proteção diária.

Agradeço aos meus pais Claudiomiro Ottoni Gugel e Veronica Furini Gugel pelo incentivo e apoio nesta caminhada.

Aos meus irmãos Robson e Rafael pelo carinho, amizade, apoio e companheirismo em todos os momentos.

Um agradecimento especial aos meus amigos Dener Fasolo e Mateus Torino, por estarem comigo desde o início dessa caminhada, muito obrigado pela amizade, ajuda, incentivo, conselhos e companheirismo, influenciaram muito positivamente na minha formação profissional e pessoal.

Aos meus amigos de campo e do laboratório de solos que me ajudaram e apoiaram na avaliação das amostras. Mas em especial ao Élcio Backes que me ajudou na maioria das análises e coletas a campo contribuindo para execução deste trabalho. Fica o meu muito obrigado.

Ao corpo docente da UTFPR-DV, pelos conhecimentos e orientações repassadas ao longo do curso que foram fundamentais para minha formação humana e profissional.

Ao meu orientador Prof. Dr. André Pellegrini, pelas oportunidades, ensinamentos, dedicação e paciência em repassar seus conhecimentos desde o início da graduação, sou muito grato por tudo.

Aos membros do Grupo de Futebol - Agropinga, pelo companheirismo, amizade.

A banca examinadora por ter aceitado o convite e estar contribuindo com a realização do trabalho.

A todos que, de alguma forma, contribuíram para realização deste trabalho.

## RESUMO

GUGEL, Rodrigo Furini. Índice S para avaliação da qualidade física de um Nitossolo sob diferentes usos e manejos. 2018. 33 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Agronomia) Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Dois Vizinhos, 2018.

A qualidade do solo refere-se a sua funcionalidade dentro dos limites de um ecossistema natural ou manejados. Uma das principais funções do sistema solo é promover o crescimento e o desenvolvimento das plantas e manter a qualidade ambiental. No entanto, o seu uso e manejo intensivo leva ao declínio de sua qualidade, assim há necessidade de adoção de sistemas de manejos conservacionistas, que garantam a produtividade biológica das culturas e preservem a qualidade do recurso solo. Desta forma, tem se procurado indicadores que expressem a qualidade física do solo, com destaque para o índice S, que tem se destacado como uma ferramenta de avaliação estrutural do solo sob diferentes usos. O objetivo do trabalho, foi caracterizar a qualidade física de um Nitossolo sob diferentes usos, através do índice S. O trabalho foi realizado na área experimental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Câmpus Dois Vizinhos. O estudo foi realizado em delineamento amostral e para cada uso foram selecionadas as principais glebas com os diferentes sistemas de manejo. As coletas foram feitas através da abertura de trincheiras amostrando o solo nas camadas de 0-7,5 e 7,5-15 cm, com quatro repetições por gleba. As avaliações físicas realizadas foram: porosidade total, macroporosidade, microporosidade, densidade do solo e de partículas, análise granulométrica e curva de retenção de água. O índice S foi determinado a partir da inclinação da CRA no ponto de inflexão. Os resultados foram submetidos à análise de variância e, quando esta indicou diferença entre médias, utilizou-se o teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade para compará-las. Com base nos resultados o uso com mata nativa sempre obteve melhor qualidade física do solo, servindo como referência. As áreas de lavoura apresentaram resultados similares para os plantios diretos, com leve perda de qualidade no sistema que foi escarificado no passado. Já nos usos que tem pisoteio animal a qualidade física apresentou valores próximos a níveis críticos para densidade do solo e macroporosidade. A mata nativa apresentou o maior índice S, seguido dos demais usos e manejos que também apresentaram valores superiores a 0,035 indicando ótima qualidade física do solo.

**Palavras-chaves:** Estrutura do solo. Curva de água no solo. Sistema de manejo. Física do solo.

## ABSTRACT

GUGEL, Rodrigo Furini. Index S for assessing the physical quality of a nitosol under different uses e management. 2018. 33 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Agronomia) Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Dois Vizinhos, 2018.

Soil quality refers to its functionality within the boundaries of a natural or managed ecosystem. One of the main functions of the soil system is to promote the growth and development of plants and to maintain environmental quality. However, their use and intensive management leads to a decline in their quality, so there is a need to adopt conservation management systems that guarantee the biological productivity of crops and preserve the quality of the soil resource. Thus, we have sought indicators that express the physical quality of the soil, with emphasis on the S index, which has stood out as a tool for structural evaluation of the soil under different uses. The objective of this work was to characterize the physical quality of a Nitosol under different uses, using the S index. The work was carried out in the experimental area of the Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Câmpus Dois Vizinhos. The study was carried out in a sampling design and for each use the main areas with the different management systems were selected. The samples were collected through the opening of trenches, sampling the soil in the 0-7.5 and 7.5-15 cm layers, with four replications per plot. The physical evaluations were: total porosity, macroporosity, microporosity, soil and particle density, grain size analysis and water retention curve. The S index was determined from the slope of the CRA at the inflection point. The results were submitted to analysis of variance and, when this indicated difference between means, the Scott-Knott test was used at 5% probability to compare them. Based on the results the use with native forest always obtained better physical quality of the soil, serving as reference. The cropping areas presented similar results for the direct plantations, with slight loss of quality in the system that was scarified in the past. In the uses that have animal trampling the physical quality presented values close to critical levels for soil density and macroporosity. The native forest had the highest S index, followed by other uses and management, which also presented values higher than 0.035, indicating optimal soil physical quality.

**Keywords:** Soil structure. Water curve in the soil. Management system. Physics of the soil.

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>6</b>
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>7</b>
2.1 USO E MANEJO DO SOLO E SEUS EFEITOS SOBRE OS ATRIBUTOS FÍSICOS.....	7
2.2 QUALIDADE FÍSICA DO SOLO.....	8
2.3 INDICADORES FÍSICOS DA QUALIDADE DO SOLO.....	9
2.4 FUNÇÕES DE PEDOTRANSFERÊNCIA – FPT .....	9
2.5 CURVA DE RETENÇÃO DE ÁGUA NO SOLO E ÍNDICES .....	10
<b>3 MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>12</b>
3.1 LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DAS ÁREAS AVALIADAS .....	12
3.2 AMOSTRAGEM DE SOLO E ANÁLISE FÍSICAS .....	12
3.2.1 Porosidade do solo.....	13
3.2.2 Densidade do solo (Ds).....	14
3.2.3 Densidade de Partícula (Dp).....	14
3.2.4 Análise granulométrica.....	15
3.3 CURVAS DE RETENÇÃO DE ÁGUA NO SOLO (CRA) .....	16
3.4 ÍNDICES .....	17
3.5 ANÁLISES ESTATÍSTICAS .....	18
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>19</b>
<b>5 CONCLUSÕES.....</b>	<b>27</b>
<b>6 REFERÊNCIAS .....</b>	<b>28</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O estudo das transformações que ocorrem no solo, resultantes do seu uso e manejo, é de grande valia na escolha do sistema mais adequado, para que se obtenha o máximo potencial do solo (FERNANDES, 1982). À medida que o solo é submetido ao uso agrícola, as propriedades físicas alteram-se, geralmente desfavoráveis ao desenvolvimento vegetal. Assim, as propriedades físicas do solo têm sido usadas para quantificar e indicar restrições ao desenvolvimento de plantas (SPERA et al., 2004).

O uso e manejo inadequado do solo por atividades agropecuárias afeta suas propriedades físicas, químicas e biológicas, tornando-o mais suscetível à erosão, podendo acarretar em limitações para o desenvolvimento das plantas e para a sua utilização agrícola (RICHART et al., 2005). Nesse sentido, a qualidade física assume grande importância na avaliação do grau de degradação do solo e na identificação de práticas de uso sustentáveis. Além da erosão, a adoção de sistemas intensivos pode prejudicar a qualidade física do solo caracterizado pela baixa aeração, baixa condutividade hidráulica, elevada densidade do solo e sistema radicular reduzido, refletindo na degradação da estrutura do solo (DEXTER, 2004a).

A avaliação da sustentabilidade dos sistemas de usos do solo geralmente é realizada de forma comparativa, entre as condições do solo sob vegetação nativa e aquele submetido às explorações agrícolas, verificando assim os efeitos do uso e manejo nos atributos físicos do solo (BLAINSKI et al., 2008).

Atualmente, o índice  $S$ , proposto por Dexter (2004a, 2004b, 2004c), tem se destacado como uma nova ferramenta de avaliação estrutural do solo, baseado no ponto de inflexão da curva de retenção de água (CRA) proposta por Van Genuchten (1980). Este índice vem sendo aceito por representar a distribuição do tamanho de poros de maior frequência e torna possível a comparação direta de diferentes solos e dos efeitos de diferentes práticas de manejo na qualidade física do solo.

Segundo Dexter (2004a), o limite entre solos com boa e pobre qualidade estrutural ocorre no valor aproximado de  $S = 0,035$ , valores de  $S < 0,020$  estão claramente associados à degradação da qualidade física do solo. Beutler et al. (2008), encontraram valores de  $S=0,056$  e  $S=0,062$  como limitantes à produtividade de soja e milho, respectivamente. Estes valores refletem os limites críticos de propriedades como porosidade total, macroporosidade e densidade do solo. Nesse sentido, o objetivo do trabalho visa caracterizar a qualidade física de um Nitossolo sob diferentes usos, através do índice  $S$ .



## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 USO E MANEJO DO SOLO E SEUS EFEITOS SOBRE OS ATRIBUTOS FÍSICOS

O manejo do solo é o conjunto de todas as práticas aplicadas a um solo visando o bom desenvolvimento das culturas e a produção agrícola. As práticas agrícolas incluem as operações de cultivo, práticas culturais e de correção de fertilização, entre outras, que utilizadas de forma racional, proporcionam aumento de produtividade, porém quando utilizadas de maneira incorreta, podem levar à degradação dos solos em curto prazo (MEDEIROS et al., 2001).

Segundo Medeiros et. al (2002) as técnicas de operações e manejo do solo devem ser realizadas com base em critérios conservacionistas, considerando-se a textura do solo e a declividade do terreno. Além disso, cada área rural tem suas peculiaridades, assim a decisão técnica irá depender dos diversos fatores como o grau de infestação de invasoras, dos resíduos vegetais na superfície, umidade do solo, existência de camadas compactadas, pedregosidade e os riscos de erosão e uso de máquinas.

Segundo Andreola et al (2000) as características físicas como porosidade, densidade e a estrutura de um solo mantido em estado natural, sob vegetação nativa, estão adequadas ao desenvolvimento normal das plantas. O desmatamento e a utilização dessas áreas para produção agrícola altera o equilíbrio natural existente, modificando as propriedades do solo, cuja intensidade varia com as condições de clima, uso e manejos adotados (MULLER et al., 2001).

Para o manejo do solo é necessário o uso de máquinas agrícola que muitas vezes causam alterações negativas nas características físicas do solo, as quais podem indicar maior ou menor degradação do solo (BERTOL et al., 2010). De acordo com o tempo de uso e manejo, os solos acabam se diferenciando em seu estado de agregação, teor de água, e possíveis tensões efetuadas pelo rodado dos maquinários, além do pisoteio animal ao longo do tempo no solo (LLANILLO et al., 2006).

Com a intensidade do uso do solo para produtividade agrícola as características físicas podem sofrer alterações negativas, podendo gerar perdas da qualidade estrutural e aumentar a suscetibilidade à erosão, portanto torna-se indispensável avaliação das propriedades físicas do solo após a sua intervenção antrópica (BERTOL et al., 2001).

## 2.2 QUALIDADE FÍSICA DO SOLO

A qualidade do solo pode ser considerada como satisfatória, quando apresentar a capacidade de exercer funcionalidade múltipla dentro dos limites de um ecossistema, para não comprometer, no futuro, o desempenho de algumas de suas funções (LARSON e PIERCE, 1994).

Segundo Karlen e Stott (1994), o manejo adotado nos diferentes usos do solo, deve oferecer condições apropriadas para o crescimento e desenvolvimento das plantas, para isso deve oferecer mínima resistência à penetração de raízes, permitir a infiltração e retenção de água da chuva, aeração, bem como a troca de gases com a atmosfera, apresentar resistência à erosão, promover a atividade biológica, adubação verde e promover tração estável para máquinas e implementos agrícolas.

A combinação dos processos físicos, químicos e biológicos do solo apresenta grande influência sobre qualidade do solo, sendo os estudos fundamentais da dinâmica do solo, desta forma obtendo o monitoramento adequado da qualidade dos solos (STRECK, 2007).

As propriedades e atributos do solo são indicadores da qualidade do solo, refletindo nas alterações da sua condição, uso e manejo do solo. Para ser de utilidade prática, os indicadores de qualidade devem ser sensíveis às variações de manejo, correlacionar-se com as funções do solo, ser de fácil mensuração e de baixo custo, que possibilitem o entendimento dos processos do ecossistema e que sejam compreensíveis e úteis para o agricultor (DORAN E ZEISS, 2000). Ingaramo (2003), afirma em seus estudos que a porosidade, densidade do solo e a taxa de infiltração de água no solo como principais indicadores das propriedades físicas é importante a avaliação de resistência do solo à penetração, condutividade hidráulica e profundidade efetiva como parâmetros a serem considerados.

A qualidade física do solo engloba também fatores relacionados à estrutura do solo, sendo a condição física expressa pela dimensão, forma e arranjo das partículas sólidas e dos poros a ela associados (BREWER e SLEEMAN, 1960). Uma estrutura do solo adequada às plantas é aquela que propicia à existência de poros para infiltração, transmissão e armazenamento de água as plantas, e que não apresente uma resistência ao crescimento das raízes.

### 2.3 INDICADORES FÍSICOS DA QUALIDADE DO SOLO

Para a avaliação da qualidade do solo, têm sido utilizados indicadores propostos por alguns autores que são capazes de estimar o estado de degradação ou conservação dos solos, utilizados nos diferentes usos e manejos (ZILLI et al., 2003). Para isso deve- ser selecionados indicadores sensíveis às mudanças causados pelo manejo, esses indicadores podem ser monitorados de forma a avaliar o impacto do manejo adotado sobre a qualidade do solo em médio e longo prazo (CHAER e TÓTOLA, 2007). De acordo com Marchão et al. (2007) as plantas necessitam de solos bem estruturados, sendo por isso, a seleção e a utilização adequada de cada tipo de solo de fundamental importância para a manutenção da qualidade e da produtividade, diante disso é indispensável para uma boa produtividade o equilíbrio dos componentes físicos, químicos e biológicos dos solos.

A estrutura do solo é um importante indicador para o crescimento de plantas, podendo ser avaliada por meio macro e micro porosidade, densidade do solo, resistência a penetração e velocidade de infiltração de água no solo. Estes parâmetros são de fácil mensuração, com respostas rápidas e indicam os efeitos dos manejos.

A curva de retenção de água no solo pode ser considerada um indicador apto a ser usado na avaliação da qualidade do solo, por estar relacionada com funções de retenção e transporte de água no solo (DORAN E PARKIN, 1994). Mais recentemente o índice S, associado à curva de retenção de água, tem sido usado em estudos de qualidade do solo.

### 2.4 FUNÇÕES DE PEDOTRASFERÊNCIA – FPT

O termo função de pedotransferência foi introduzido por Bouma (1989) para definir as funções preditivas de características do solo que apresentam dificuldade de determinação, ou custo elevado, obtendo-as a partir de dados disponíveis. Naturalmente, iniciativas em obter funções preditivas de características complexas já eram utilizadas antes da proposição do termo (PIDGEON, 1972; DE JONG; LOEBEL, 1982).

A utilização de funções de pedotransferência (FPTs) para a obtenção dos pontos da curva de retenção de água (CRA) no solo consiste em uma alternativa promissora para tornar o processo de obtenção dos parâmetros necessários para gerar a CRA, mais simples, rápido e

com menor custo, pois parte da premissa de que apenas alguns atributos seriam determinados nos laboratórios e estes serviriam de base para a estimativa de outros atributos de determinação complexa. Pois as propriedades físicas como a textura, distribuição, diâmetro médio de poros e estrutura do solo são diretamente ligadas à variação na quantidade de água armazenada no solo (PETRY et al., 2007). Também o tipo de solo e a qualidade das partículas de argila são responsáveis pela afinidade que se estabelece entre a água e as partículas sólidas, resultando na energia de retenção de água no solo (REICHARDT E TIMM, 2004).

Michelon (2010) em trabalho com um grande banco de dados obteve a curva característica de água de solos estimada com precisão, por pedofunções, a partir dos atributos do solo: areia fina, silte, argila, densidade do solo, densidade de partículas, macroporosidade, microporosidade e porosidade total. Apesar de ainda contar com vários indicadores estes são obtidos de forma mais rápida e com menor custo. Desta forma poderá ser disponibilizada tecnologia praticamente inacessível atualmente a agricultores familiares como a curva de retenção de água no solo, através da análise física de solo. Então o levantamento local de características físicas e hídricas dos solos sob os diferentes sistemas de uso é o primeiro passo para a obtenção da curva de retenção de água.

## 2.5 CURVA DE RETENÇÃO DE ÁGUA NO SOLO E ÍNDICE S

Os solos argilosos possuem maior espaço poroso, principalmente por poros de menores diâmetros e maior superfície adsorptiva, possuindo maior capacidade de reter água. Desta forma, solos de textura argilosa retêm mais umidade em toda a faixa de potencial comumente avaliada.

A água no solo é retida por forças de adsorção e capilaridade que depende de diversos fatores (LIBARDI, 2005). A energia para remover esta água é definida por uma tensão, pode ser dada pela energia potencial da água entre dois pontos verticais. Também define a absorção de água pelas plantas, podendo interferir na evapotranspiração (HANKS; ASHCROFT, 1980).

Segundo Dexter (2004a), o valor da inclinação da CRA em seu ponto de inflexão, ponto de curvatura zero, é considerado como índice S, indicador de qualidade do solo. Quanto menor for o valor de S menor será a inclinação da CRA no solo, correspondendo a um solo desestruturado (MACHADO, 2006). Por ser baseado na CRA, o índice S reflete a mudanças

ocorridas nas propriedades físicas do solo. Dexter (2004a) considera valores de S superiores a 0,035 são adequados ao crescimento de raízes.

As propriedades físicas do solo e comportamento são governados pela estrutura do solo, que reflete na distribuição do tamanho dos poros, podendo ser avaliada pela CRA. A inclinação da CRA avaliada pelo índice S, é indicadora da qualidade do solo com base na estrutura prevendo algumas propriedades físicas do solo e aspectos de comportamento (DEXTER e CZYZ 2007).

Dexter (2004a) descreve que a água drenada da saturação até o ponto de inflexão é realizada primeiramente pela porosidade estrutural e posteriormente pela porosidade textural, portanto quando a porosidade estrutural é comprometida pelos processos de compactação, a CRA é alterada afetando o ponto de inflexão e sua inclinação podendo ser avaliado pelo índice S.

Tormena e Silva (2002) trabalhando com Latossolo observaram que o parâmetro “n” foi sensível às variações da densidade, confirmando a correlação encontrada entre densidade do solo com o índice S, uma vez que este é estimado com base no parâmetro n. Pereira et al. (2011) também trabalhando com Latossolo analisaram a densidade do solo, porosidade total, macroporosidade, microporosidade, diâmetro médio geométrico e ponderado e determinaram o índice S e com base nas análises realizadas os autores observaram correlação significativa do índice S com a densidade do solo, e que todos tratamentos apresentaram índice S superior a 0,035 indicando a boa qualidade física do solo.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DAS ÁREAS AVALIADAS

O trabalho foi realizado na área experimental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Câmpus Dois Vizinhos, situada em latitude de 25° 42' 52" S e longitude de 53° 03' 94" O - GR, a 520 metros de altitude. O clima da região é do tipo subtropical úmido mesotérmico (Cfa), com precipitação pluviométrica entre 1800 a 2200 mm ano<sup>-1</sup>, com predominância de Nitossolos Vermelhos (ALVAREZ et al., 2014; BHERING et al. 2008).

O experimento iniciou-se com a seleção dos principais usos e manejos que compõem a área experimental. Assim obteve-se 4 usos e 6 glebas, ou seja: Mata nativa; Lavoura (Plantio direto Escarificado, Plantio direto 1 e Plantio direto 2); Pecuária (Pastagem permanente) e Interação lavoura-pecuária. A determinação dos atributos físicos foram realizadas no laboratório de solos da UTFPR, Câmpus Dois Vizinhos, no período de março a maio de 2018.

#### 3.2 AMOSTRAGEM DE SOLO E ANÁLISE FÍSICAS

As análises físico-hídricas foram feitas através da abertura de trincheiras coletando amostras deformadas e indeformadas nas profundidades de 0-7,5 e 7,5-15 cm, com quatro repetições por gleba. As amostras de solo indeformadas, foram coletadas com o auxílio de um extrator, no qual foi acoplado um cilindro de metal de 6,0 cm de diâmetro e 3,0 cm de altura, utilizado para a determinação da densidade do solo, porosidade total, macroporosidade e microporosidade, de acordo com a metodologia de Embrapa (2017). As amostras com estrutura deformada, foram coletadas com pá de corte, utilizadas para a determinação da análise granulométrica e da densidade de partícula (Dp), ambos descritos em Embrapa, (2017).

### 3.2.1 Porosidade do solo

No laboratório de solos da UTFPR-DV as amostras de solo indeformadas foram saturadas durante um período de 24 horas e pesadas. Levadas logo em seguida para a mesa de tensão onde permaneciam por 48 horas a uma tensão de 6 kPa, para que ocorresse a drenagem da água que estava nos macroporos das amostras. Após esta etapa foi realizada a pesagem das amostras, posteriormente seguiram para estufa de circulação e ar contínuo por mais 48 horas a 105°C, onde se retirou a umidade contida nos microporos. A porosidade total e microporosidade foram estimadas conforme as equações (1) e (2) respectivamente. A macroporosidade foi calculada pela diferença entre a porosidade total e a microporosidade conforme equação (3). Como demonstrado nos cálculos seguintes:

$$Pt = \frac{\text{massa do solo saturado} - \text{massa do solo seco a } 105^{\circ}\text{C}}{\text{volume da amostra}} \quad (1)$$

Pt = Porosidade Total ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ )

$$Mi = \frac{\text{massa do solo pos mesa de tensão} - \text{massa do solo seco}}{\text{volume da amostra}} \quad (2)$$

Mi = Microporosidade ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ )

$$Ma = Pt - Mi \quad (3)$$

Ma = macroporosidade ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ )

### 3.2.2 Densidade do solo ( $D_s$ )

Este atributo do solo foi avaliado, através da equação (4), por meio da massa obtida do solo após secagem em estufa em relação ao volume ocupado pela amostra no anel.

$$D_s = \frac{a}{b} \quad (4)$$

$D_s$  = Densidade aparente (g/cm<sup>3</sup>)

a = peso da amostra seca a 105°C (g)

b = volume do anel ou cilindro (cm<sup>3</sup>)

### 3.2.3 Densidade de Partícula ( $D_p$ )

A amostra de solo foi seca ao ar, e posteriormente levada a estufa de circulação de ar contínuo por um período de 6 a 12 horas a 105° C. A  $D_p$  foi determinada em laboratório a partir da equação (5), na qual se calcula o volume absoluto ocupado por 20 g de solo em balão volumétrico de 50 ml mais álcool.

$$D_p = \frac{a}{50 - b} \quad (5)$$

a = peso da amostra seca a 105°C

b = volume de álcool gasto



### 3.2.4 Análise granulométrica

Após a coleta, as amostras foram transportadas ao laboratório e colocado na estufa onde permaneceu por 24 horas, com temperatura constante de 105°C, para secagem e realização da análise. O método utilizado para determinação da textura foi o da Pipeta, o qual se baseia na velocidade de queda das partículas que compõem o solo. Fixou-se o tempo para o deslocamento vertical da suspensão do solo com água, após a adição de um dispersante químico (soda ou calgon). Pipetou-se um volume da suspensão, posteriormente seca em estufa e pesada para determinação da argila. As frações grosseiras (areia fina e grossa) foram separadas por tamisação, secas em estufa e pesadas para obtenção dos respectivos percentuais. O silte correspondeu ao complemento dos percentuais para 100%. Foi obtido por diferença das outras frações em relação à amostra original. A distribuição granulométrica (textura do solo em %) foram estimadas pelas seguintes fórmulas (6):

$$\% \text{ de areia grossa} = (PDA - PAF) \times 5 \times f$$

$$\% \text{ de areia fina} = \text{peso da areia fina} \times 5 \times f$$

$$\% \text{ de silte} = 100 - (\% \text{ de AF} + \% \text{ de AG} + \% \text{ de argila})$$

$$\% \text{ de argila} = ((PA + \text{dispersante}) - PD) \times 100 \times f$$

(6)

Onde:

PA = peso da argila

PD = peso do dispersante

PDA = peso das areias

PAF = peso areia fina

AF = areia fina

AG = areia grossa

f = fator de umidade residual

### 3.3 CURVAS DE RETENÇÃO DE ÁGUA NO SOLO (CRA)

Os dados das características física do solo gerados pela metodologia citada serviram para aplicar as equações propostas por Michelin (2010) conforme Tabela 1. Após este procedimento foram gerados seis valores de potencial matricial, sendo os pontos: 0; 1; 33; 100; 500; e 1500 kPa.

Tabela 1. Funções de pedotransferência para estimativa da retenção de água em diferentes potenciais da camada superficial de 0-25 cm para os solos do Rio Grande do Sul, (MICHELON, 2010).

Potencial kPa	Equação	R <sup>2</sup> total
θ0	$\theta_0 = 0,2255 - 0,0804Ds + 0,5122Micro + 0,411Pt$	0,774
θ-1	$\theta-1 = 0,1398 - 0,0409Ds + 0,2069Macro + 0,8809Micro$	0,872
θ-33	$\theta-33 = -0,0789 + 0,0362Ds + 1,0011Micro - 0,0004AF$	0,936
θ-100	$\theta-100 = -0,1014 + 0,0430Ds + 0,9891Micro - 0,0006AF$	0,905
θ-500	$\theta-500 = -0,4888 + 0,2307Ds + 0,2807Macro + 0,6468Micro + 0,0010Si + 0,0022Arg$	0,711
θ-1500	$\theta-1500 = -0,1974 + 0,1093Dp - 0,3050Macro + 0,0011Si + 0,0024Arg$	0,810

Ds = Densidade do solo; Micro = Microporosidade; Pt = Porosidade total; Macro = Macroporosidade; AF = Areia fina; Si = Silte; Arg = Argila; Dp = Densidade de partícula.

Após a obtenção dos valores das tensões de água no solo, as curvas de retenção de água no solo foram obtidas pelo software RETC (VAN GENUCHTEN; LEIJ; YATES, 1991), que ajustou o modelo matemático para obtenção dos parâmetros para a equação (7) para estimativa da umidade volumétrica do solo (VAN GENUCHTEN, 1980).

$$\theta[\psi_m] = \theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{\left[1 + [\alpha|\psi_m|^n]\right]^m} \quad (7)$$

sendo:

$\theta[\psi_m]$  - umidade volumétrica estimada no solo;

$\theta_r$  - umidade residual;  $\theta_s$  é a umidade de saturação;

$\Psi$  - tensão da água no solo (kPa.) e

$\alpha$ ,  $n$  e  $m$  - parâmetros utilizados para o ajuste do modelo, obtendo-se  $m$  pela equação (8) (MUALEM, 1976):

$$m = 1 - \left(\frac{1}{n}\right) \quad (8)$$

### 3.4 ÍNDICE S

Para o cálculo do índice S empregou-se a equação (9), apresentada por Dexter (2004a) que é utilizada quando o ajuste é feito pelo modelo de Van Genuchten (1980).

$$S = -n(\Theta_{\text{sat}} - \Theta_{\text{res}}) \cdot [1+1/m]^{-[1+m]} \quad (9)$$

Onde:

S = valor da inclinação da CRA no seu ponto de inflexão;

$\theta_{\text{res}}$  = conteúdo de água residual ( $\text{g g}^{-1}$ )

$\theta_{\text{sat}}$  = conteúdo de água saturado ( $\text{g g}^{-1}$ )

$m$  e  $n$  = parâmetros empíricos da equação.

A avaliação da qualidade física do solo foi realizada com base nos valores do índice S obtidos da equação (9), em relação aos limites críticos estabelecidos por Dexter (2004a).

### 3.5 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

A análise estatística dos dados foi realizada pelo software SISVAR versão 5.6 (FERREIRA, 2011), primeiramente os dados foram submetidos ao teste de normalidade e posterior a análise de variância com 5% de probabilidade. Nos casos em que se encontrou variância significativa, as médias obtidas foram comparadas pelo teste de Skott Knott a 5%.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A granulometria do solo analisada referentes aos usos e manejos apresentaram diferenças significativas para as frações de areia, silte e argila (Tabela 2). A fração areia apresentou valores médios entre 0,06 e 0,08 kg kg<sup>-1</sup> nas diferentes profundidades. Sendo observado os maiores teores de areia no uso de mata, a qual diferiu significativamente dos demais usos, possivelmente pela localização do uso ser em áreas de relevo ondulado, que através do processo de erosão geológica apresenta mais suscetibilidade a erosão, surgindo assim a presença de pedregosidade e rochiosidade.

Os maiores teores de silte foram observados nos usos de mata e lavoura, sendo significativamente superior ao das demais áreas para ambas profundidades. A maior quantidade de argila foi encontrada nos usos com pastagem, Integração Lavoura Pecuária (ILP), seguido pela lavoura.

A grande quantidade da fração silte e argila analisada nos diferentes usos e manejos nas profundidades analisadas classificaram os solos em quatro classes texturais que foram Franco siltosa, Muito argilosa, Argila siltosa e Argila.

Segundo Bhering et al. (2008), esse solo é classificado como Nitossolo Vermelho distroférico e conforme à Embrapa (2013) esses solos apresentam como características serem profundo, bem drenado, com textura argilosa, com boas condições físicas. Apresentando como principais limitações, a baixa saturação por bases e, no caso de relevo ondulado a suscetibilidade a erosão e a presença de pedregosidade e rochiosidade como encontrada no uso de Mata.

Tabela 2. Valores médios da análise granulométrica de um Nitossolo Vermelho em diferentes usos e profundidades. UTFPR, Dois Vizinhos, PR, 2018.

Causas da Variação		AREIA	SILTE	ARGILA	CLASSE TEXTURAL
(kg kg <sup>-1</sup> )					
<b>Profundidade 0,000 - 0,075 m</b>					
Usos (U)	MATA <sup>2</sup>	0,25 a <sup>1</sup>	0,50 a	0,25 d	Franco siltosa
	Lavoura (PD1) <sup>3</sup>	0,05 b	0,55 a	0,40 c	Argila siltosa
	Lavoura (PD2) <sup>4</sup>	0,05 b	0,36 b	0,59 b	Argila siltosa
	Lavoura (PDE) <sup>5</sup>	0,06 b	0,54 a	0,40 c	Argila siltosa
	PASTAGEM <sup>6</sup>	0,02 b	0,31 b	0,67 a	Muito argilosa
	ILP <sup>7</sup>	0,03 b	0,43 a	0,54 b	Argila siltosa
	<b>Valor de F</b>	<b>U</b>	<b>68,08**</b>	<b>10,48**</b>	<b>21,98**</b>
<b>Média geral</b>		<b>0,08</b>	<b>0,44</b>	<b>0,47</b>	
<b>CV (%)</b>		<b>26,19</b>	<b>13,53</b>	<b>13,29</b>	
<b>Profundidade 0,075 - 0,150 m</b>					
Usos (U)	MATA <sup>2</sup>	0,23 a	0,48 a	0,29 d	Franca siltosa
	Lavoura (PD1) <sup>3</sup>	0,04 b	0,51 a	0,45 c	Argila siltosa
	Lavoura (PD2) <sup>4</sup>	0,02 b	0,30 c	0,68 a	Muito argilosa
	Lavoura (PDE) <sup>5</sup>	0,03 b	0,43 b	0,54 b	Argila siltosa
	PASTAGEM <sup>6</sup>	0,03 b	0,29 c	0,68 a	Muito argilosa
	ILP <sup>7</sup>	0,03 b	0,39 b	0,58 b	Argila
	<b>Valor de F</b>	<b>U</b>	<b>35,01**</b>	<b>11,76**</b>	<b>23,30**</b>
<b>Média geral</b>		<b>0,06</b>	<b>0,40</b>	<b>0,53</b>	
<b>CV (%)</b>		<b>44,91</b>	<b>13,25</b>	<b>11,52</b>	

<sup>1</sup> Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Scott-Knott a 5%.

Mata<sup>2</sup>; PD1<sup>3</sup> = Plantio Direto 1; PD2<sup>4</sup> = Plantio Direto 2; PDE<sup>5</sup> = Plantio Direto Escarificado; Pastagem<sup>6</sup>; ILP<sup>7</sup> = Integração Lavoura Pecuária.

\*\* significativo a 1%.

Fonte: Autoria própria (2018).

Os usos e manejos do solo diferiram quanto a porosidade total que apresentaram valores médios estimados de 0,57 a 0,67 m<sup>3</sup>m<sup>-3</sup>, valores característicos para solos argilosos onde variam de 0,5 a 0,7 m<sup>3</sup>m<sup>-3</sup> (Tabela 3). A mata nativa apresentou os maiores valores de porosidade total para camada de 0,00 – 0,075 m, por não ter sido cultivado não apresentou efeitos do trânsito de máquinas e equipamentos, o que está relacionado com a menor densidade do solo. Houve redução da porosidade total dependendo do uso e manejo do solo,

este efeito foi maior pronunciado nos usos de interação lavoura pecuária (ILP) e pastagem, onde foram encontrados os menores valores causado pelo pisoteio animal que tem sido levantado como um dos principais causadores da compactação do solo. O uso de mata juntamente com os usos de plantio direto 1 (PD1) e plantio direto 2 (PD2) apresentaram os maiores valores porosidade total para camada de 0,075 – 0,015 m. Os usos de plantio direto escarificado (PDE), ILP e pastagem promoveram redução na porosidade do solo apresentando valores médios de porosidade total de 0,59, 0,58 e 0,57  $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$  respectivamente, valores menores ao observado por Toigo (2010), que encontrou valores entre 0,58 a 0,70  $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$  de porosidade total, em plantio direto com diferentes manejos e rotações de cultura. Albuquerque et al. (2001) também verificaram maior valor da porosidade total em solo sob mata, em comparação aos tratamentos com solos sob ação antrópica. De maneira geral em ambas profundidades houve diferenças entre os usos, mais podendo ser agrupados conforme os manejos lavoura e pecuária. Um solo ideal para a produção agrícola, a distribuição da porosidade total deve ser de 0,50  $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ , sendo a distribuição de percentual de 1/3 para macroporos e 2/3 para microporos, Kiehl (1979).

Com relação a macroporosidade destacasse o uso de mata que apresentou os maiores valores para ambas camadas, diferindo significativamente dos demais usos. Na camada de 0,075 – 0,15 m, os manejos puderam ser agrupados em lavoura e pecuária, sendo os maiores valores encontrados nos manejos de PDE, PD1 e PD2, e os menores valores aos uso de pastagem e ILP. Esses valores e diferenças podem ser explicado devido ação antrópica, que está relacionada com a compactação do solo pelo uso de máquinas e implementos e pelo pisoteio dos animais (Albuquerque et al., 2001; Fonseca et al., 2007; CAVENAGE, A. et al. 1999). Além disto, a macroporosidade é uma propriedade que reduz significativamente com a compactação do solo, diminuindo principalmente infiltração de água, assim demorando mais tempo para atingir o espaço do solo com ar, que é de 0,1  $\text{m}^3\text{m}^{-3}$ , valor considerado crítico para grande parte das culturas (REICHERT et al. 2007).

De modo geral a macroporosidade nos usos de Mata, PD1, PD2 e PDE não estão em situação crítica, tomando por base o valor de referência (0,1  $\text{m}^3\text{m}^{-3}$ ), conseqüentemente estes valores não estão comprometendo a infiltração, porém nos usos de pastagem e ILP encontramos valores muito próximos a os valores de referência os quais podem apresentar pouca aeração gerando restrições ao sistema radicular, a difusão de gases e infiltração de água.

Tabela 3. Resultados dos parâmetros físicos porosidade total, macroporosidade, microporosidade e densidade avaliados em um Nitossolo sob diferentes usos e manejos na área experimental da UTFPR, Dois Vizinhos, PR, 2018.

Causas da Variação		PT <sup>1</sup>	MA <sup>2</sup> (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )	MI <sup>3</sup>	DS <sup>4</sup> (kg dm <sup>-3</sup> )
<b>Profundidade 0,000 - 0,075 m</b>					
Usos (U)	MATA <sup>5</sup>	0,67 a <sup>11</sup>	0,29 a	0,38 a	0,94 a
	Lavoura (PD1) <sup>6</sup>	0,61 b	0,14 b	0,46 b	1,2 b
	Lavoura (PD2) <sup>7</sup>	0,62 b	0,14 b	0,48 b	1,15 b
	Lavoura (PDE) <sup>8</sup>	0,61 b	0,15 b	0,45 b	1,27 b
	PASTAGEM <sup>9</sup>	0,57 c	0,11 b	0,47 b	1,25 b
	ILP <sup>10</sup>	0,58 c	0,09 b	0,48 b	1,26 b
<b>Valor de F</b>	<b>U</b>	<b>8,47**</b>	<b>17,52**</b>	<b>15,53**</b>	<b>8,77**</b>
<b>Média geral</b>		<b>0,61</b>	<b>0,15</b>	<b>0,45</b>	<b>1,18</b>
<b>CV (%)</b>		<b>3,98</b>	<b>21,1</b>	<b>4,43</b>	<b>7,2</b>
<b>Profundidade 0,075 - 0,150 m</b>					
Usos (U)	MATA <sup>5</sup>	0,63 a	0,23 a	0,40 a	1,045 a
	Lavoura (PD1) <sup>6</sup>	0,62 a	0,14 b	0,47 b	1,17 b
	Lavoura (PD2) <sup>7</sup>	0,62 a	0,15 b	0,47 b	1,13 b
	Lavoura (PDE) <sup>8</sup>	0,59 b	0,14 b	0,45 b	1,30 c
	PASTAGEM <sup>9</sup>	0,57 b	0,11 c	0,45 b	1,24 c
	ILP <sup>10</sup>	0,58 b	0,11 c	0,47 b	1,25 c
<b>Valor de F</b>	<b>U</b>	<b>7,48**</b>	<b>22,64**</b>	<b>8,38**</b>	<b>14,39**</b>
<b>Média geral</b>		<b>0,6</b>	<b>0,15</b>	<b>0,45</b>	<b>1,19</b>
<b>CV (%)</b>		<b>3,38</b>	<b>12,73</b>	<b>4,28</b>	<b>4,19</b>

PT <sup>1</sup> = Porosidade Total; MA <sup>2</sup> = Macroporosidade; MI <sup>3</sup> = Microporosidade; DS <sup>4</sup> = Densidade do solo.

Mata <sup>5</sup>; PD1<sup>6</sup> = Plantio Direto 1; PD2 <sup>7</sup> = Plantio Direto 2; PDE <sup>8</sup> = Plantio Direto Escarificado; Pastagem <sup>9</sup>; ILP <sup>10</sup> = Integração Lavoura Pecuária.

<sup>11</sup> Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Scott-Knott a 5%.

\*\* significativo a 1%.

Fonte: Autoria própria (2018).

A mata apresentou menores valores de microporosidade, diferindo estatisticamente dos demais usos, em ambas camadas (Tabela 3). Esses valores pode ser atribuído a boa estrutura do solo e o maior teor de MO do solo. O aumento da microporosidade é



frequentemente observado com o incremento de atividades com o solo, visto que o solo quando submetido ao cultivo intenso tende a perder a estrutura original pelo fracionamento dos agregados maiores em unidades menores, com conseqüente redução de macroporos e aumento de microporos, observando nos usos de lavoura e as áreas de pastagem. A microporosidade é muito importante para o desenvolvimento das plantas, pois enquanto a macro é responsável pelo fluxo de água a micro é responsável pelo armazenamento da mesma no solo.

Com relação a densidade do solo a Mata apresentou os menores valores nas duas profundidades, diferindo dos demais usos (Tabela 3). Sabe-se que a densidade do solo é afetada naturalmente pela textura, teor de matéria orgânica, manejo e pelo grau de compactação, isso explica os valores observados na Mata. De maneira geral permite inferir que os usos de PDE, Pastagem e ILP apresentam compactação do solo para ambas camadas devido aos baixos valores de macroporosidade e com densidade média de  $1,25 \text{ kg dm}^{-3}$ . Estas propriedades do solo também indicaram maior compactação na superfície, reduzindo em profundidade, permitindo dizer que algumas das causas das variações nas camadas mais superficiais têm origem da intensidade de pastejo, visto que a compactação do solo pelo pastejo de bovinos propagasse até aproximadamente 0,12m (COHRON,1972).

A partir desta análise prévia das principais propriedades físicas do solo que estão atreladas a dinâmica da água foi possível aplicar as equações (Tabela 1), propostas por Michelin (2010), obtendo-se assim os valores das tensões de água e a curva de retenção de água (CRA) no solo. Posteriormente as curvas de retenção de água no solo passaram por um programa computacional denominado de RETC, para obtenção da umidade de saturação, residual e dos parâmetros empíricos  $n$  e  $m$ . Na figura 1 e 2 são apresentadas as curvas de retenção de água da Mata e Pastagem, ajustadas segundo o modelo matemático proposto por van Genuchten (1980). A Mata apresentou maior retenção de água no solo comparada a curva de Pastagem, baseado no ponto de inflexão da curva de retenção de água, a Mata apresentou maior inclinação da CRA no solo correspondendo a um solo com boa qualidade e a pastagem a menor inclinação da CRA indicando ser um solo mais desestruturado.

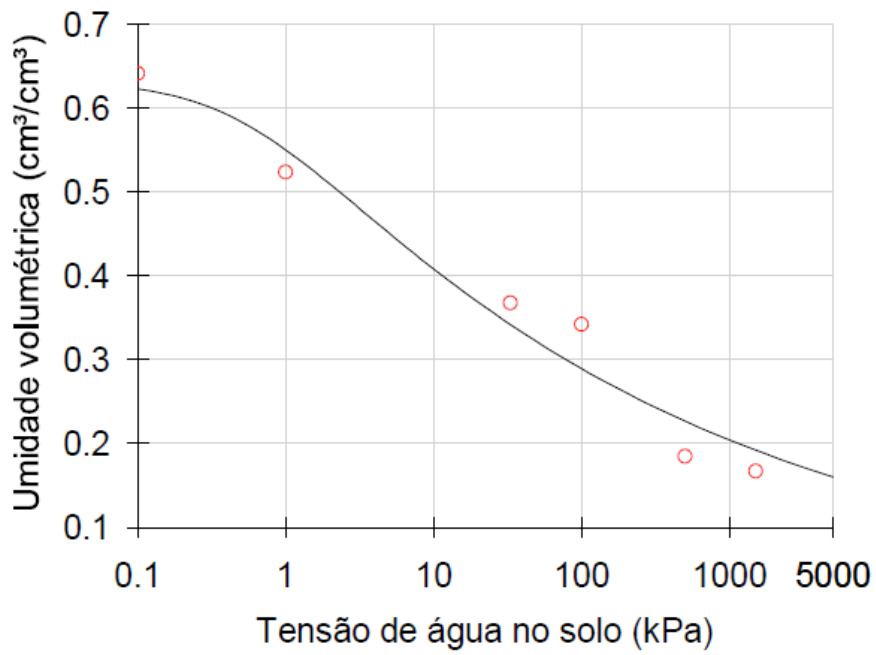


Figura 1. Curva de retenção de água do solo obtida do RETC a partir dos parâmetros das propriedades física do solo no uso da Mata.

Fonte: Autoria própria (2018).

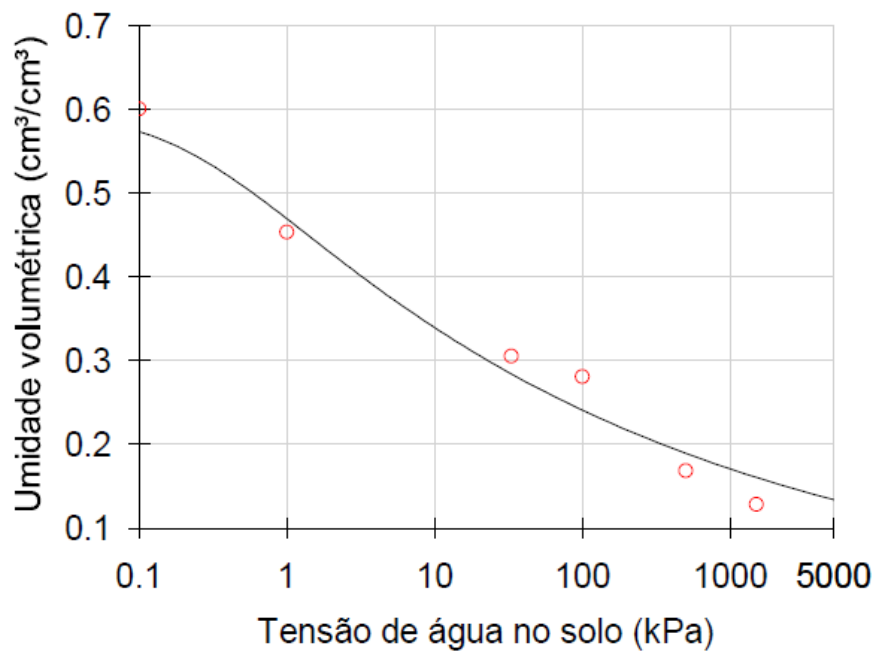


Figura 2. Curva de retenção de água do solo obtida do RETC a partir dos parâmetros das propriedades física do solo no uso da Pastagem.

Fonte: Autoria própria (2018).

Com base nos resultados dos parâmetros obtidos pelo programa RETC, foi possível determinar o índice S, que apresentou diferença significativa para os diferentes usos e manejos em ambas camadas (Tabela 4).

Tabela 4. Índice S avaliado em um Nitossolo sob diferentes usos e manejos na área experimental da UTFPR, Dois Vizinhos, PR, 2018.

Causas da Variação		ÍNDICE S
<b>Profundidade 0,000 - 0,075 m</b>		
Usos (U)	MATA <sup>1</sup>	0,1150 a <sup>7</sup>
	Lavoura (PD1) <sup>2</sup>	0,1025 b
	Lavoura (PD2) <sup>3</sup>	0,0775 c
	Lavoura (PDE) <sup>4</sup>	0,0950 b
	PASTAGEM <sup>5</sup>	0,0725 c
	ILP <sup>6</sup>	0,0825 c
Valor de F	U	<b>12,04**</b>
<b>Média geral</b>		<b>0,0908</b>
<b>CV (%)</b>		<b>10,31</b>
<b>Profundidade 0,075 - 0,150 m</b>		
Usos (U)	MATA <sup>1</sup>	0,1100 a
	Lavoura (PD1) <sup>2</sup>	0,0875 b
	Lavoura (PD2) <sup>3</sup>	0,0700 c
	Lavoura (PDE) <sup>4</sup>	0,0850 b
	PASTAGEM <sup>5</sup>	0,0700 c
	ILP <sup>6</sup>	0,0800 b
Valor de F	U	<b>24,87**</b>
<b>Média geral</b>		<b>0,0837</b>
<b>CV (%)</b>		<b>7,09</b>

Mata <sup>6</sup>; PD1 <sup>7</sup> = Plantio Direto 1; PD2 <sup>8</sup> = Plantio Direto 2; PDE <sup>9</sup> = Plantio Direto Escarificado; Pastagem <sup>10</sup>; ILP <sup>11</sup> = Integração Lavoura Pecuária.

<sup>7</sup> Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Scott-Knott a 5%.

\*\* significativo a 1%.

Fonte: Autoria própria (2018).

Analisando os valores médios do índice S para os usos e manejos do solo, percebe-se que todos valores são superiores à 0,035, o que de acordo com a Tabela 5 apresentam uma qualidade muito boa do solo. Contudo de acordo com os dados de macroporosidade do solo na Tabela 3 os usos com ILP e Pastagem estão próximos ao valor de referência (0,1 m<sup>3</sup>m<sup>-3</sup>), e

pode gerar restrição ao crescimento radicular. Beutler et al. (2008), encontraram valores de  $S = 0,056$  e  $S = 0,062$  como limitantes à produtividade de soja e milho, respectivamente, porém os mesmos são inferiores aos encontrados nos usos avaliados nesse trabalho, assim não apresentando restrições físicas para o crescimento e desenvolvimento das plantas. Ainda conforme a classificação da qualidade física do solo descrita por Dexter (2004a) (Tabela 5), com base nos valores limites do índice S, todos usos e manejos apresentam muita boa qualidade do solo.

Tabela 5. Categorias descritivas da qualidade física do solo, em termos dos valores correspondentes de S.

Limites do Índice S	Qualidade do solo
$S \geq 0,050$	Muito Boa
$0,050 > S \geq 0,035$	Boa
$0,035 > S \geq 0,020$	Pobre
$0,020 > S$	Muito Pobre

Fonte: Dexter 2004a.

Nas duas camadas amostradas o solo sob mata apresentou maior índice S que os demais usos e manejos indicando maior qualidade física, melhor distribuição de poros e maior quantidade de poros com maior diâmetro, a exemplo do que se observa na tabela 3. Portanto menor restrição física para o crescimento de raízes de plantas quer seja por aeração, restrição mecânica ou por características de retenção de água, conforme constatado por Dexter (2004a), uma vez que possui ausência de tráfego de máquinas e pisoteio de animais, ao contrário dos outros usos e manejos, e aos maiores teores de matéria orgânica e microrganismos no solo.

O usos de pastagem e ILP apresentaram os menores valores de índice S em relação aos usos de lavoura e mata em ambas camadas. Esse resultado é um reflexo dos maiores valores de densidade do solo e menores valores de macroporosidade (Tabela 3).

Observou-se também que houve uma diminuição do Índice S em profundidade, demonstrando que a camada de 0 - 7,5 m apresentou melhores condições físicas para o crescimento radicular em todos os usos. Netto et al. (2007) e Marchão et al. (2007) também encontraram variação para o índice S em função do sistema de uso e manejo. Assim como em seus estudos, o valor do S foi sempre superior àquele indicado por Dexter (2004a).

## 5 CONCLUSÕES

Em todas as condições avaliadas os valores de índice S foram muito superiores a 0,035 indicando ótima qualidade física do solo sob os usos e manejos adotados. A área de mata apresentou melhor qualidade física do solo, determinada pelo índice S, macroporosidade e densidade, em relação aos usos de lavoura, pastagem e ILP. A utilização da integração lavoura-pecuária, não melhorou a qualidade física do solo.

O índice S é altamente correlacionado com a densidade do solo, porosidade total e macroporosidade. Para obtenção de melhores resultados das avaliações físicas da qualidade do solo é necessário associar o índice S com indicadores físicos de qualidade do solo já propostos como macro e micro porosidade, densidade do solo, resistência a penetração.

## 6 REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, J.A.; SANGOI, L. e ENDER M. Efeitos da integração lavoura-pecuária nas propriedades físicas do solo e características da cultura do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 25:717-723, 2001.

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

ANDREOLA, F.; COSTA, L. M.; OLSZEWSKI, N. Influência da cobertura vegetal de inverno e da adubação orgânica e, ou, mineral sobre as propriedades físicas de uma Terra Roxa Estruturada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 24: 857-865, 2000.

BERTOL, I.; BEUTLER, J. F.; LEITE, D.; BATISTELA, O. Propriedades físicas de um Cambissolo Húmico afetadas pelo tipo de manejo do solo. **Scientia Agricola**, 58:555-560, 2001.

BERTOL, I.; VASQUEZ, E. V.; GONZÁLEZ, A. P.; COGO, N. P.; LUCIANO, R. V.; FABIAN, E. L. Sedimentos transportados pela enxurrada em eventos de erosão hídrica em um Nitossolo Háplico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 34:245-252, 2010.

BEUTLER, A. N.; FREDDI, O. da S.; LEONE, C. L. e CENTURION, J. F. Densidade do solo relativa e parâmetro "S" como indicadores da qualidade física para culturas anuais. *Revista de Biologia e Ciências da Terra*, 8:27-36, 2008.

BHERING, S.B.; SANTOS, H.G. **Mapa de solos do Estado do Paraná**. Legenda atualizada. Rio de Janeiro, Embrapa Florestas/Embrapa Solos/Instituto Agrônômico do Paraná, 2008. 74p.

BLAINSKI, E.; TORMENA, C. A. FIDALSKI, J.; GUIMARÃES, R. M. L. Quantificação da degradação física do solo por meio da curva de resistência do solo à penetração. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 32:975-983, 2008.

BOUMA, J. Using soil survey data for quantitative land evaluation. In: STEWART, B. A. (Ed.) **Advances in soil science**. New York: Springer-Verlag, 1989. v. 9, p. 177-213.

BREWER, R.; SLEEMAN, J.R. Soil structure: attempts at its quantitative characterization. **Journal of Soil**, 11:172-185, 1960.

CAVENAGE, A. et al. Alterações nas propriedades físicas de um Latossolo Vermelho-Escuro sob diferentes culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, n. 4, 1999.

CHAER, G. M.; TÓTOLA, M. R. Impacto do Manejo de Resíduos orgânicos durante a reforma de plantios de eucalipto sobre indicadores de qualidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 31:1381-1396, 2007.

COHRON, G. T. Forces causing soil compaction. In: BARNES, K.K.; CARLETON, W.M.; TAYLOR, H.M.; THROCKMORTON, R.I.; VANDER BERG, G.E. **Compaction of agricultural soils**. Beltsville: ASAE, 1972. p.106-122.

DE JONG, R.; LOEBEL, K. Empirical relations between soil components and waterretention at 1/3 and 15 atmospheres. **Canadian Journal of Soil Science**, v. 62, n. 2, p. 343-350, May 1982.

DEXTER, A. R. Soil physical quality. Part I. Theory, effects of soil texture, density, and organic matter, and effects on root growth. **Geoderma**, v.120, p.201-214, 2004a.

DEXTER, A. R. Soil physical quality. Part II. Friability, tillage, filth and hard-setting. **Geoderma**, v.120, p.215-225, 2004b.

DEXTER, A. R. Soil physical quality. Part III. Unsaturated hydraulic conductivity and general conclusions about S-theory. **Geoderma**, v.120, p.227-239, 2004c.

DEXTER, A. R.; CZYZ, E. A. Applications of S-THEORY in the study of soil physical degradation and its consequences. **Land Degradation e Development**, v. 18, n. 4, p. 369-381, July/Aug. 2007.

DORAN, J.W.; PARKIN, T. B. Defining and assessing soil quality. In.: DORAN, J.W.; COEMAN, D. C.; BEZDICEK, D. F. e STAWART, B. A.; eds. Defining soil quality for a sustainable environment Madison. **ASA/SSSA**, 1994. p.3-21. 1994.

DORAN, J.W.; ZEISS, M.R. Soil health and sustainability: managing the biotic component of soil quality. **Applied Soil Ecology**, 15: 3-11, 2000.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de Métodos de Análise de Solo**, Paulo César Teixeira ... [et al.], editores técnicos—3.ed. rev. e ampl. – Brasília, DF: Embrapa, 2017. 573 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3.ed. Brasília, 2013. 353p. Faltou Embrapa 2011.

FERNANDES, M.R. **Alterações em propriedades de um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, fase cerrado, decorrentes da modalidade de uso e manejo**. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1982. 65p. (Tese de Mestrado).

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011.

FONSECA, G. C.; CARNEIRO, M. A. C.; COSTA, A. R. DA; OLIVEIRA, G. C. DE; BALBINO, L. C. Atributos físicos, químicos e biológicos de Latossolo Vermelho distrófico de cerrado sob duas rotações de cultura. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.37, n.1, p.22-30, 2007.

HANKS, R. J.; ASHCROFT, G. L. **Applied soil physics: soil water and temperature applications**. 8. ed. New York: Springer-Verlag, 1980. 159 p. (Advanced series in agricultural sciences).

INGARAMO, O. E. **Indicadores físicos de la degradación Del suelo**. La Coruña, Universidade da Coruña, p. 298, 2003. (Tese de Doutorado).

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

KIEHL, E. J. Manual de edafologia. São Paulo. **Ceres**, 1979.262p.

LARSON, W.E.; PIERCE, F.J. The dynamics of soil quality as a measure of sustainable management. In: DORAN, J.W.; COLEMAN, D.C.; BZEDICEK, D.F.; STEWART, B.A., eds. Defining soil quality for a sustainable environment. Madison, **Soil Science Society of America**, Special Publication Number 35, 1994. p.37-51.

LIBARDI, P. L. **Dinâmica da água no solo**. São Paulo: EDUSP, 2005. 345 p.

LLANILLO, R. F.; RICHART, A.; FILHO, J. T.; GUIMARÃES, M. F.; FERREIRA, R. R. M. Evolução de propriedades físicas do solo em função dos sistemas de manejo em culturas anuais. **Semina: Ciências Agrária**, 27:205-220, 2006.



MACHADO, J. L. **Qualidade física de solo em distintos sistemas de uso e manejo quantificada pelo índice S**. Universidade Estadual de Maringá, 2006. Dissertação (Mestrado em solos e Nutrição de Plantas). Maringá: UEM, 2006, 45 p.

MARCHÃO, R. L. et al. S” e intervalo hídrico ótimo em Latossolo Vermelho sob sistemas de integração lavoura-pecuária no Cerrado. In: **Congresso Brasileiro de Ciência do Solo**. 2007.

MARCHÃO, R. L.; BALBINO, L. C.; SILVA, E. M.; JUNIOR, J. D. G. S.; SÁ, M. A. C.; VIELA, L.; BECQUER, T. Qualidade física de um Latossolo Vermelho sob sistemas de integração lavoura – pecuária no Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 42:873-882, 2007.

MEDEIROS, J. da C. et al. **Resultados da Pesquisa do Algodão em Goiás: Safra 2000/2001**. Campina Grande: Fundação GO/Embrapa Algodão/Fialgo, 124p., 2001. (Embrapa Algodão. Documentos, 84).

MEDEIROS, J. da C. et al. **Manejo da cultura do algodão com Resultados da Pesquisa em Goiás. 2001/2002**. Campina Grande: Fundação GO/Embrapa Algodão/Fialgo, 22p., 2002. (Embrapa Algodão. Documentos, 98).

MICHELON, C. J., CARLESSO, R., OLIVEIRA, Z. D., KNIES, A. E., PETRY, M. T., e MARTINS, J. D. Funções de pedotransferência para estimativa da retenção de água em alguns solos do Rio Grande do Sul. **Ciência Rural**, 40(4), 848-853, 2010.

MULLER, M. M. L.; GUIMARÃES, T. D.; MARTINS, P. F. S. Degradação de pastagens na região Amazônica: propriedades físicas do solo e crescimento de raízes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 36:1409-1418, 2001.

NETTO, ANTONIO ANGELOTTI; FERNANDES, EDEMO JOÃO; CENTURION, José Frederico. Propriedades físicas e indicador de qualidade de um Latossolo Vermelho submetido a diferentes sistemas de uso e manejo. **Irriga**, p. 27-37, 2007.

OADES, J. M. Soil organic matter and structural stability: mechanisms and implications for management. **Plant and Soil**. Dordrecht, 76:319-337, 1984.

PEREIRA, F. D. S.; ANDRIOLI, I.; PEREIRA, F. D. S.; OLIVEIRA, P. R. D.; CENTURION, J. F.; FALQUETO, R. J.; MARTINS, A. L. D. S. Qualidade física de um Latossolo Vermelho submetido a sistemas de manejo avaliado pelo índice S. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, n. 1, p. 87-95, Jan./Fev. 2011.

PETRY, MIRTA TERESINHA et al. Disponibilidade de água do solo ao milho cultivado sob sistemas de semeadura direta e preparo convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, n. 3, 2007.

PIDGEON, J. D. Measurement and prediction of available water capacity of ferrallitic soils in Uganda. **Journal of Soil Science**, v. 23, n. 4, p. 431-441, Sep. 1972.

REICHARDT, K. e TIMM, L.C. **Solo, planta e atmosfera: Conceitos, processos e aplicações**. Barueri, Manole, 2004. 477p.

RICHART, A.; TAVARES FILHO, J.; BRITO, O. R.; LLANILLO, R. F.; FERREIRA, R. Compactação do solo: Causas e efeitos. **Semina**, v.26, p.321-344, 2005.

SPERA, S. T.; SANTOS, H. P.; FONTANELI, R. S.; TOMM, G. O. Efeitos de sistemas de produção de grãos envolvendo pastagens sob plantio direto nos atributos físicos de solo e na produtividade. **Revista Brasileira de Ciência Solo**, 28:533-542, 2004.

STRECK, C. A. **Índice S e fluxo de água e ar em solos do sul do Brasil**. 2007. 97 f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.

TOIGO, SONIA et al. Porosidade Total, Macroporosidade e Microporosidade de um Nitossolo influenciadas pela escarificação e compactação adicional. **Seminário: Sistemas de Produção Agropecuária-Ciências Agrárias, Animais e Florestais**, 2010.

TORMENA, C. A.; SILVA, A. P. Incorporação da densidade no ajuste de dois modelos à curva de retenção de água no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, n. 2, p. 305-314, mar./abr. 2002.

VAN GENUCHTEN, M. T.; LEIJ, F. J.; YATES, S. R. **The RETC code for quantifying the hydraulic functions of unsaturated soils**. Ada, Oklahoma: R. S. Kerr Environmental Research Laboratory, U. S. Environmental Protection Agency, 1991. 85 p.

VAN GENUCHTEN, M. TH. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society of America Journal**, v.44, p.892-898, 1980.

ZILLI, J. E.; RUMJANEK, N. G.; XAVIER, G. R.; COUTINHO, H. L. da C.; NEVES, M. C. P. Diversidade Microbiana como Indicadores da Qualidade do Solo. **Cadernos de ciência e tecnologia**, 20 p. 2003.