



UNIVERSIDADE FEDERAL DA FRONTEIRA SUL

CAMPUS ERECHIM

CURSO DE AGRONOMIA

GUSTAVO CAMERINI

**PROPRIEDADES FÍSICAS DE UM LATOSSOLO VERMELHO
ALUMINOFÉRRICO HÚMICO: UM ESTUDO DE CASO NA ÁREA EXPERIMENTAL
DA UNIVERSIDADE FEDERAL DA FRONTEIRA SUL CAMPUS ERECHIM**

ERECHIM

2018

GUSTAVO CAMERINI

**PROPRIEDADES FÍSICAS DE UM LATOSSOLO VERMELHO
ALUMINOFÉRRICO HÚMICO: UM ESTUDO DE CASO NA ÁREA EXPERIMENTAL
DA UNIVERSIDADE FEDERAL DA FRONTEIRA SUL CAMPUS ERECHIM**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como
requisito para obtenção de Grau de Bacharel em
Agronomia da Universidade Federal da Fronteira Sul.

Orientador: Prof. Dr. Alfredo Castamann

ERECHIM

2018

PROGRAD/DBIB - Divisão de Bibliotecas

Camerini, Gustavo

Propriedades físicas de um Latossolo Vermelho
Aluminoférrico Húmico : Um estudo de caso na área
experimental da Universidade Federal da Fronteira Sul -
Campus Erechim/ Gustavo Camerini. -- 2018.

32 f.:il.

Orientador: Prof. Dr. Alfredo Castamann.

Trabalho de conclusão de curso (graduação) -
Universidade Federal da Fronteira Sul, Curso de
Agronomia , Erechim, RS , 2018.

1. Densidade do solo 2. Densidade relativa. 3.
Resistência à penetração. I. Castamann, Prof. Dr. Alfredo,
orient. II. Universidade Federal da Fronteira Sul. III.
Título.

GUSTAVO CAMERINI

**PROPRIEDADES FÍSICAS DE UM LATOSSOLO VERMELHO
ALUMINOFÉRRICO HÚMICO: UM ESTUDO DE CASO NA ÁREA EXPERIMENTAL
DA UNIVERSIDADE FEDERAL DA FRONTEIRA SUL CAMPUS ERECHIM**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito para obtenção de grau de Bacharel em Agronomia da Universidade Federal da Fronteira Sul.

Orientador: Prof. Dr. Alfredo Castamann

Este trabalho de conclusão de curso foi defendido e aprovado pela banca em: 18/06/2018

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Alfredo Castamann - UFFS

Prof. Dr. Gismael Francisco Perin - UFFS

Prof. MS. Ulisses Pereira de Mello - UFFS

RESUMO

Dentro do sistema solo tem-se uma inter-relação muito grande entre propriedades físicas, químicas e biológicas, propriedades fundamentais e que condicionam o tipo e a estrutura de cada solo, propiciando o desenvolvimento de plantas e a geração de alimentos. O trabalho foi realizado na área experimental da Universidade Federal da Fronteira Sul - Campus Erechim, dividindo-se em coletas de campo, análises laboratoriais e análise à campo com o objetivo de caracterizar e descrever as propriedades físicas de um Latossolo Vermelho Aluminoférrico Húmico. Os atributos físicos textura, densidade de partículas, densidade do solo, porosidade total e densidade relativa foram avaliados nas camadas 0 a 10 cm e 10 a 20 cm, enquanto que a resistência à penetração avaliou-se nas camadas 0 a 5, 5 a 10, 10 a 15 e 15 a 20 cm do solo. As variáveis de estudo textura, densidade de partículas e porosidade total apresentaram resultados dentro do esperado para um solo de textura argilosa. A densidade do solo e a densidade relativa diferiram nas camadas de estudo, constatando-se maiores valores na camada 10 a 20 cm e para a resistência à penetração da mesma forma, entretanto constatou-se maiores valores nas camadas 5 a 15 cm, diferindo desta forma as camadas compactadas dentro destes atributos.

Palavras-chave: Densidade do solo. Densidade relativa. Resistência à penetração.

ABSTRACT

Within the soil system, there is a great interrelationship between the physical, chemical and biological properties, these properties are essential and condition the type and the structure of each soil, favoring the development of plants and the generation of food. The study was carried out in the experimental area of the Federal University of Fronteira Sul - Campus Erechim, dividing into fields of study, laboratory analysis and field analysis with the purpose of describing the physical properties of a Humic Aluminoferric Red Latosol. Physical attributes are texture, particle density, soil density, total porosity and relative density which were evaluate in all layers 0 to 10 cm and 10 to 20 cm, while the penetration resistance was evaluated in layers 0 to 5, 5 to 10, 10 to 15 and 15 to 20 cm from the soil. The study variables of texture, particle density and porosity presented results in the set for the soil of clayey texture. Soil density and relative density differed in the study layers, showing higher values in layer 10 to 20 cm and in the same way for resistance to penetration, however higher values were detected in layers 5 to 15 cm, differing in this way the compacted layers within these attributes.

Keywords: Soil Density. Relative Density. Resistance to penetration.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	7
2	MATERIAL E MÉTODOS	9
2.1	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	9
2.2	COLETAS DE SOLO.....	9
2.3	ANÁLISES LABORATORIAIS.....	11
2.3.1	Textura.....	11
2.3.2	Densidade de partículas	13
2.3.3	Densidade do solo.....	14
2.3.4	Porosidade total	15
2.3.5	Densidade relativa	15
2.4	ANÁLISE A CAMPO	16
2.4.1	Resistência a penetração	16
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	17
3.1	TEXTURA.....	17
3.2	DENSIDADE DE PARTÍCULAS	18
3.3	DENSIDADE DO SOLO	19
3.4	POROSIDADE TOTAL.....	20
3.5	DENSIDADE RELATIVA	22
3.6	RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO	23
4	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	26
	REFERÊNCIAS.....	27
	ANEXO A – QUADROS.....	31

1 INTRODUÇÃO

A exploração e a utilização dos recursos naturais servem como base para a maioria dos países desenvolverem seu sistema econômico e pelo fato de exercerem uma grande pressão sobre o ecossistema acabam causando sérios impactos sobre o meio ambiente. O solo, dentre os recursos naturais, é o mais utilizado para a produção de alimentos e fibras e, na maioria das vezes, de forma intensiva (PEREIRA; TÔSTO; CARVALHO, 2015).

A absorção de água e nutrientes pelas plantas está relacionada a uma interação de raízes com o solo, maximizando maior absorção nos pelos radiculares (SANTOS & CARLESSO, 1998). As barreiras físicas, quando presentes em um solo, podem prejudicar o desenvolvimento radicular de uma planta e reduzir assim a capacidade de absorção de água e nutrientes. A planta torna-se suscetível a um estresse hídrico e desequilibrada nutricionalmente (RAIJ, 2010).

A capacidade de retenção de água, a porosidade de aeração, a temperatura do solo e a resistência à penetração das raízes são atributos físicos do solo indicadores de sua qualidade física. Um solo com adequada qualidade física permite o crescimento e desenvolvimento adequado do sistema radicular, o que é fundamental à obtenção de água e nutrientes pelas plantas (REINERT & REICHERT, 2006).

Assim, as propriedades físicas de um solo são muito importantes e estão estreitamente relacionadas com o desenvolvimento de uma cultura. O uso do solo de forma inapropriada promove mudanças em sua estrutura, notadamente em termos de compactação do mesmo, o que pode afetar o crescimento e desenvolvimento das plantas e a produção (GUBIANI. I.; REICHERT, J.; REICHERT, D., 2014).

A exploração de novas áreas de cultivo é uma realidade no Brasil, e vem acompanhada de problemas como a compactação, com sérios impactos sobre o solo, principalmente devido ao uso excessivo de implementos agrícolas, notadamente quando sob condições inadequadas de umidade do solo (VIEIRA & KLEIN, 2007). A compactação do solo pode se tornar um dos fatores limitantes mais importantes e que está relacionada com o decréscimo da produtividade de grandes culturas (FREITAS, 1994).

A compactação do solo, com o conseqüente aumento da densidade e redução da porosidade, pode favorecer os processos erosivos, principalmente devido a diminuição da infiltração da água e o aumento do escoamento superficial da água da chuva não infiltrada. Este poderá arrastar consigo as camadas férteis de solo, que contém a matéria orgânica e nutrientes, dificultar o desenvolvimento de uma cultura e, conseqüentemente, gerar um maior custo ambiental e de produção para os agricultores (REICHERT; SUZUKI; REINERT, 2007).

Com base neste contexto objetivou-se com esse trabalho caracterizar e descrever as propriedades físicas textura, densidade de partículas, densidade do solo, porosidade total, densidade relativa e resistência à penetração de um Latossolo Vermelho Aluminoférrico Húmico, localizado na área experimental da Universidade Federal da Fronteira Sul – Campus Erechim.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O estudo foi conduzido na Área experimental e no Laboratório de solos da Universidade Federal da Fronteira Sul, no município de Erechim/RS. O local encontra-se sob as seguintes coordenadas geográficas S 27°72'90'' e W 52°27'46'' e apresenta um clima, segundo a Classificação Climática de Koppen subtropical úmido, com chuvas regulares e temperatura média anual em torno de 18,5 °C (PREFEITURA MUNICIPAL DE ERECHIM, 2018).

O solo em estudo classifica-se segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2013) como um Latossolo Vermelho Aluminoférrico Húmico, caracterizado por ser um solo muito profundo, homogêneo, intemperizado e de boa drenagem. A área do estudo encontrava-se em um sistema de pousio, sob uma forte incidência de espécies como a guanxuma (*Sida rhombifolia* L.) e a buva (*Conyza* spp.), comumente encontradas em áreas agricultáveis da região Sul do Brasil.

2.2 COLETAS DE SOLO

Na área do estudo foram realizadas avaliações dos atributos físicos em duas camadas do solo, a camada 0 a 10 cm e a camada de 10 a 20 cm, totalizando cinco repetições em cada camada de estudo.

A propriedade física denominada textura foi determinada em amostras de solo obtidas em uma pequena trincheira com dimensões de 20 x 20 x 20 cm, com auxílio de uma pá-de-corte. O solo assim coletado foi separado nas duas camadas por meio do emprego de uma régua graduada.

Diferente do procedimento usado para obter amostras destinadas a determinar a textura do solo, procedeu-se a coleta de amostras de solo para a determinação da densidade de partículas, com o auxílio de um trado calador graduado em centímetros e em diferentes pontos dentro da área de estudo. As amostras assim obtidas foram acondicionadas em sacos plásticos e devidamente identificadas.

A coleta de amostras indeformadas para determinar a densidade do solo foi realizada com o auxílio de um trado tipo Ulhand (Figura 1) e de cilindros volumétricos (Figura 2). Antes da coleta a campo, os cilindros foram aferidos com um paquímetro digital, quanto a sua altura e o seu diâmetro. A obtenção destes parâmetros foi necessária para determinar o volume (V) de cada cilindro, enquanto que a massa de cada cilindro (M_{cil}) foi determinada em uma balança analítica (Figura 3).

Figura 1 - Trado tipo Ulhand



Fonte: Autor, 2018.

Figura 2 - Cilindro volumétrico



Fonte: Autor, 2018.

Figura 3 - Balança analítica



Fonte: Autor, 2018.

No campo, foram coletadas as amostras de solo indeformadas em diferentes locais e ao final de cada coleta procedia-se o ajuste do volume de solo coletado ao volume do cilindro (KLEIN, 2014). Com o objetivo de transportar as amostras com segurança, cada cilindro foi vedado em suas extremidades com o auxílio de tampas plásticas. Cada cilindro, previamente numerado, foi devidamente identificado e acondicionado em uma pequena maleta de campo.

2.3 ANÁLISES LABORATORIAIS

2.3.1 Textura

As amostras de solo coletadas à campo foram levadas para o laboratório e colocadas em bandejas de metal para posterior secagem em estufa à temperatura de 105 °C por um período de 12 horas. Após a secagem das amostras de solo, as mesmas foram peneiradas em peneira de malha de 2 mm, obtendo-se assim terra fina seca em estufa (TFSE).

Para determinação dos tamanhos das partículas do solo (granulometria) foi utilizado o método da pipeta, conforme procedimento descrito por Gee & Bauder (1986), em que foram pesados 10g de solo seco (TFSE) para cada amostra e suas respectivas repetições. As amostras pesadas foram colocadas em frascos de vidro do tipo “snapcap” de 100 mL juntamente com um pouco de água destilada e 10 mL de dispersante químico NaOH 1M, as quais foram agitadas em agitador mecânico (mesa de agitação) por um período de 16 horas.

A solução agitada foi retirada e transferida para vidros de 600 mL, completando o volume restante (600 mL) com água destilada, e aferindo o volume com auxílio de uma pipeta. Após, foi medido a temperatura da suspensão com auxílio de um termômetro. Conhecendo-se a temperatura da suspensão e a densidade de partículas do solo, obtem-se o tempo de sedimentação das partículas de areia muito fina (Quadro 1) para posterior determinação das partículas de silte mais argila (1ª leitura) e o tempo de sedimentação das partículas de silte para posterior determinação argila (2ª leitura) (Quadro 2). O tempo de sedimentação também pode ser determinado através da equação da Lei de Stokes, conforme segue:

$$t = \frac{18 \cdot h \cdot \eta}{d^2 \cdot g \cdot (ds - dág)}$$

Onde:

t = tempo de sedimentação da silte ou argila em segundos

h = profundidade de pipetagem em cm (5 cm)

η = viscosidade da água em poise

d = diâmetro da partícula em cm (silte ou argila)

g = aceleração da gravidade em $\text{cm} \cdot \text{seg}^{-2}$ ($982 \text{ cm} \cdot \text{seg}^{-2}$)

ds = densidade do solo em $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$

dág = densidade da água em $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$

A suspensão foi homogeneizada manualmente utilizando um agitador manual por um período de 1 minuto, decorrido a sedimentação da areia muito fina (18 segundos para todas as amostras), conforme a temperatura da água de 26 °C e densidade de partícula de $2,77 \text{ g/cm}^3$

fez-se a pipetagem de 25 mL da suspensão na profundidade de 5 cm, coletando assim nessa suspensão a fração de silte mais argila, que foi depositado em béqueres de vidros de 50 mL, os quais já estavam devidamente pesados.

Para determinar apenas a fração argila do solo, o tempo de sedimentação do silte foi de 3 horas e 8 minutos (Quadro 2), contando a partir da última leitura realizada (silte + argila). Decorrido às 3 horas e 8 minutos foi realizada a pipetagem de 25 mL da suspensão também na profundidade de 5 cm, porém sem agitação manual na suspensão. A suspensão pipetada foi depositada em béqueres de 50 mL, também previamente pesados.

As suspensões pipetadas na primeira e segunda leitura foram encaminhadas à estufa de secagem na temperatura de 105 °C por um período de 24 horas, decorrido este tempo as amostras foram retiradas da estufa e transferidas para um dessecador, deixando-as esfriar pelo período de aproximadamente 1 hora. A pesagem de cada amostra realizou-se em balança de precisão (Figura 4), obtendo-se o peso do béquer + silte + argila (primeira leitura) e peso do béquer mais argila (segunda leitura). Para a obtenção da massa das partículas de silte e de argila descontou-se a massa do béquer previamente determinada. Vale salientar que nos cálculos também foram descontados o peso do dispersante químico utilizado, que no caso de 10 mL de NaOH é de 0,01 g.

Figura 4 - Balança de precisão



Fonte: Autor, 2018.

O material que restou no vidro de 600 mL foi passado em peneira com abertura de malha de 0,053 mm para a determinação da fração areia total do solo, ou seja, o material foi lavado com água corrente sobre a referida peneira. O material retido na peneira foi acondicionado em latas e levadas à estufa de secagem à temperatura de 105 °C onde permaneceram por 24 horas, cessado este período as amostras foram retiradas da estufa e

postas para esfriar em dessecador por aproximadamente 1 hora, realizando-se na sequencia a pesagem das latas (amostras) em uma balança analítica.

2.3.2 Densidade de partículas

As amostras de solo providas do campo, no laboratório foram acondicionadas em latas devidamente identificadas e submetidas ao processo de secagem. A secagem foi realizada em uma estufa a uma temperatura de 105 °C durante 24 horas. Decorrido o tempo de secagem, as amostras foram transferidas para um dessecador por um período de 1 hora, para que ocorresse o resfriamento. O solo previamente seco foi submetido a peneiramento em uma peneira com abertura de malha de 2 mm, retirando-se 10 g de solo peneirado de cada amostra.

Para determinar a densidade de partículas do solo utilizou-se o método do picnômetro, conforme a norma técnica (DNER-ME 093/94). Neste ensaio utilizou-se picnômetros de 50 ml. Inicialmente foram determinadas as massas de todos os picnômetros previamente limpos e vazios (P1), após acrescentou-se em cada picnômetro as 10 g de solo anteriormente peneirado, e assim determinou-se a massa do picnômetro com o solo (P2). Após, foi adicionada água destilada até que a amostra de solo fosse totalmente coberta pelo líquido. O picnômetro com a amostra de solo e água foi submetido à agitação e aquecimento por um período de 15 minutos, com o objetivo de expulsar todo ar existente entre as partículas. Cessado este aquecimento e agitação da amostra, a mesma foi mantida em condições ambientais para que ocorresse o resfriamento. Depois de resfriado, em cada picnômetro foi adicionada água destilada até completar o volume. Após isso, os picnômetros foram colocados em um banho à temperatura ambiente, por um período de 15 minutos. Passado este tempo, os picnômetros foram secos e novamente pesados (P3). O conteúdo presente em cada picnômetro foi lavado e retirado completamente, após adicionou-se água destilada até a extremidade de cada e colocou-se para um banho à temperatura ambiente por um período de 15 minutos. Decorrido o tempo para o banho, retirou-se cada picnômetro e os mesmos foram enxugados, previamente secos, pesou-se novamente (P4).

Para determinar a densidade de partículas nas camadas 0 a 10 cm e 10 a 20 cm do solo utilizou-se a seguinte equação:

$$Dp = \frac{(P2) - (P1)}{(P4 - P1) - (P3 - P2)}$$

Onde:

D_p = Densidade de partículas (g/cm^3)

P_1 = Peso do picnômetro vazio e seco (g)

P_2 = Peso do picnômetro mais amostra (g)

P_3 = Peso do picnômetro mais amostra, mais água (g)

P_4 = Peso do picnômetro mais água (g)

2.3.3 Densidade do solo

No laboratório a massa de solo contida nos cilindros volumétricos foi submetida a um processo de secagem em estufa com circulação de ar forçada e com temperatura regulada a $105\text{ }^\circ\text{C}$, até que fosse obtida massa constante (KLEIN, 2014). A massa constante foi alcançada após um período de 48 horas em estufa. Com isso os mesmos foram retirados e acondicionados em um dessecador onde permaneceram por volta de 2 horas, período este destinado ao resfriamento de cada cilindro. Cessado o resfriamento, cada cilindro foi submetido à pesagem em uma balança analítica, com o objetivo de determinar a massa de solo seco (M_{ss}).

A determinação da densidade do solo é realizada por meio da determinação da massa de solo seco (M_{ss}) e do volume ocupado pela massa de solo (V). A massa de solo seco foi obtida pela seguinte equação:

$$M_{ss} = (M_{cil} + M_{ss}) - M_{cil}$$

Onde:

M_{ss} = Massa de solo seco (g)

M_{cil} = Massa do cilindro (g)

O volume do solo corresponde ao volume do cilindro foi obtido pela seguinte equação:

$$V = \pi \cdot \left(\frac{D^2}{4} \right) \cdot h$$

Onde:

V = volume do cilindro (cm^3)

$\pi = 3,1416$

D = diâmetro interno do cilindro (cm)

h = altura do cilindro (cm)

Com os resultados encontrados da massa de solo seco e do volume do cilindro, utilizou-se a seguinte equação para determinar a densidade do solo nas camadas 0 a 10 cm e 10 a 20 cm (KLEIN, 2014):

$$D_s = \frac{M_{ss}}{V}$$

Onde:

D_s = Densidade do solo (g/cm^3)

M_{ss} = Massa de solo seco (g)

V = Volume (cm^3)

2.3.4 Porosidade total

Para se obter a porosidade total do solo utilizou-se os resultados de duas variáveis de estudo que são: 1) a densidade de partículas e; 2) a densidade do solo, mensuradas acima nos itens 2.3.2 e 2.3.3. A partir destes resultados pode-se determinar a porosidade total na camada 0 a 10 cm e 10 a 20 cm do solo. Para determinar a porosidade total em cada camada de solo estudada utilizou-se a seguinte equação (VOMOCIL, 1986):

$$P_{total} = \left[1 - \left(\frac{D_s}{D_p} \right) \right] \times 100$$

Onde:

P_{total} = Porosidade total (%)

D_s = Densidade do solo (g/cm^3)

D_p = Densidade de partículas (g/cm^3)

2.3.5 Densidade relativa

A densidade relativa consiste na relação entre a densidade do solo e a sua densidade máxima. A densidade máxima do solo foi estimada a partir do teor de argila fazendo uso de um modelo matemático proposto por (MARCOLIN & KLEIN, 2011). Este modelo pode prever a densidade máxima do solo apenas com base no teor de argila. Já a densidade do solo foi determinada conforme está descrito no item 2.3.3.

O modelo proposto por Marcolin & Klein (2011) para determinar a densidade máxima estimada em função do teor de argila é apresentado a seguir:

$$D_{max} = -0,0092x + 2,01238$$

Onde:

D_{max} = Densidade máxima estimada (g/cm^3)

x = Teor de argila (%)

Para determinar a densidade relativa estimada do solo nas camadas 0 a 10 cm e 10 a 20 cm utilizou-se a seguinte equação (KLEIN, 2006):

$$Dr = \frac{Ds}{Dmax}$$

Onde:

Dr = Densidade relativa estimada

Ds = Densidade do solo (g/cm³)

Dmáx = Densidade máxima (g/cm³)

2.4 ANÁLISE A CAMPO

2.4.1 Resistência à penetração

A resistência à penetração foi determinada a partir da utilização de um penetrômetro de campo modelo Falker (Figura 5), realizando-se medições nas camadas 0 a 5, 5 a 10, 10 a 15 e 15 a 20 cm do solo, totalizando nove pontos amostrais para cada camada dentro da área de estudo. Os resultados obtidos em cada camada foram salvos no penetrômetro e exportados para uma planilha eletrônica. Cada resultado expresso em KPa pelo penetrômetro foi transformado em MPa, através da divisão pelo número 1000.

Figura 5 - Penetrômetro de campo



Fonte: Autor, 2018.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 TEXTURA

Os resultados encontrados para o atributo físico textura apresentaram uma variabilidade do percentual de argila total dentro das camadas estudadas, apresentando maior percentual de argila na camada 10 a 20 cm (Tabela 1). Com base nos resultados mensurados na tabela 1 o solo da área estudada foi classificado como muito argiloso. Ainda, com a finalidade de interpretar o teor de fósforo no solo (análise química) considera-se um solo muito argiloso (Classe textural 1) aqueles que apresentam um percentual de argila em sua estrutura > 60 % (ROLAS, 2016).

Tabela 1 - Teores de argila, areia e silte na camada 0 a 10 cm e 10 a 20 cm do solo.

Camada (cm)	Argila	Areia	Silte	Total
	-----%			
0 – 10	61,83	15,45	22,67	100
10 – 20	68,80	15,01	16,20	100

Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

Costa et al. (2003) em uma área sob o sistema convencional, plantio direto e vegetação natural constataram aumento do teor de argila e uma redução do carbono orgânico em profundidade dentro das camadas estudadas em ambos os sistemas adotados. Estes resultados encontrados por Costa et al. (2003) vão ao encontro dos mensurados por Silva & Mielniczuk (1998) onde em uma área com diferentes cultivos constatou-se também aumento dos teores de argila e redução de carbono orgânico nas camadas mais profundas.

Andreola; Costa; Olszewski (2000) trabalhando com duas camadas de estudo, as camadas 0 a 10 cm e 10 a 20 cm também encontraram diferença no teor de argila, apresentando-se maior teor de argila na camada mais profunda. Entretanto Silva et al. (2014) observaram aumento dos teores de argila, porém constatando-se um maior teor de argila até a profundidade de 10 cm.

Scherer (1993) destaca que em Latossolos os maiores teores de argila e de óxidos são comumente encontrados nas camadas mais profundas. Vezzani & Mielniczuk (2011) destacam que a fração argila promove maior aproximação das partículas de um solo, contribuindo assim para a agregação deste solo (SILVA et al., 2014).

3.2 DENSIDADE DE PARTÍCULAS

O estudo da densidade de partículas constitui-se em parâmetro importante para a estimativa da porosidade total do solo. O cálculo desta, depende da densidade do solo e da densidade das partículas.

Conforme descrito na tabela 2, a variável de estudo densidade de partículas resultou em valores praticamente iguais nas diferentes camadas 0 a 10 cm e 10 a 20 cm do solo amostradas, com diferença apenas na terceira casa decimal (Tabela 2). Estes resultados encontrados na área experimental vão ao encontro do resultado encontrado por Sachetti; Rojas; Heineck (2014), que constatou uma densidade de partículas de 2,78 g/cm³ em solo da unidade de mapeamento Erechim.

Tabela 2 - Densidade de partículas na camada 0 a 10 cm e 10 a 20 cm do solo.

Camada (cm)	Densidade de partículas (g/cm³)	Camada (cm)	Densidade de partículas (g/cm³)
0 - 10	2,78	10 - 20	2,82
0 - 10	2,78	10 - 20	2,79
0 - 10	2,77	10 - 20	2,74
0 - 10	2,78	10 - 20	2,82
0 - 10	2,77	10 - 20	2,70
Média	2,776	Média	2,774

Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

Medeiros et al. (2009) em um Latossolo Vermelho amostrado na camada 0 a 20 cm, sob diferentes sistemas de manejo, constataram densidade de partículas com valores compreendidos entre 2,71 e 2,76 g/cm³.

Silva et al. (2002) em solos de diferentes classes texturais sob o sistema plantio direto observaram uma diferença nos valores da propriedade física densidade de partículas para a camada 10 a 12 cm do solo, constatando uma densidade de partículas de 2,56 g/cm³ para um solo de classe textural arenosa e 2,78 g/cm³ para um solo de classe textural argilosa. Esta diferença de valores pode estar associada principalmente com a diferença de classes texturais.

Carvalho; Figueiredo; Costa (1999) comentam que na camada de 0 a 15 cm do solo de uma área manejada sob o sistema plantio direto a densidade de partículas encontrada foi de 2,75 g/cm³, porém esta densidade aumentava no momento em que se aprofundava mais as camadas do solo, muito em função do decréscimo da matéria orgânica nas camadas mais profundas do solo. Beutler et al. (2001) afirmam que o preparo do solo através do seu revolvimento causa redução na concentração de matéria orgânica, tendo-se menores

concentrações nas camadas superficiais, diferindo desta forma a densidade de partículas do solo.

Os valores encontrados para as camadas de estudo 0 a 10 cm e 10 a 20 cm mostram-se similares aos encontrados por Sachetti; Rojas; Heineck (2014) e Silva et al. (2002) em solos de mesma classe textural, entretanto a variabilidade de resultados para esta propriedade física é normal, muito em função da diferença textural apresentada pelos diversos tipos de solo. Reichardt & Timm (2004) afirmam que a variabilidade de resultados está dentro do esperado para uma grande variedade de solos.

3.3 DENSIDADE DO SOLO

A densidade do solo determinada na camada de 0 a 10 cm pode ser considerada diferente da avaliada na camada 10 a 20 cm (Tabela 3). Com base nos resultados encontrados pressupõe-se que a camada 10 a 20 cm, por apresentar um maior valor de densidade do solo, esteja mais compactada, o que pode torná-la uma barreira física ao crescimento radicular, além de afetar propriedades como a porosidade deste solo.

Tabela 3 - Densidade do solo na camada 0 a 10 cm e 10 a 20 cm do solo.

Camada (cm)	Densidade do solo (g/cm³)	Camada (cm)	Densidade do solo (g/cm³)
0 – 10	1,24	10 - 20	1,28
0 – 10	1,28	10 - 20	1,36
0 – 10	1,23	10 - 20	1,39
0 – 10	1,33	10 - 20	1,31
0 – 10	1,24	10 - 20	1,28
Média	1,264	Média	1,324

Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

Alguns autores indicam uma densidade crítica que limita o crescimento radicular das plantas (CINTRA & MIELNICZUK, 1983; PEDÓ, 1986) com base, principalmente, na classe textural de cada solo (REINERT et al., 2008). Estes valores críticos tornam-se importantes, pois valores acima do crítico irão condicionar problemas no desenvolvimento de plantas e em outras propriedades físicas relacionadas com a densidade do solo (FONSECA et al., 2007).

Reichert et al. (2003) observaram em um estudo com solos de diferentes classes texturais que a densidade crítica para solos argilosos se apresenta dentro do intervalo de 1,30 a 1,40 g/cm³ e para solos arenosos observou valores de 1,70 a 1,80 g/cm³. Observando-se os

resultados encontrados da densidade crítica de um solo argiloso, nos remete a avaliar que a camada 10 a 20 cm do solo estudado pode apresentar um impedimento físico e dificultar, desta forma, o desenvolvimento das raízes das plantas estabelecidas neste solo.

O impedimento do crescimento radicular torna-se um sério problema dentro de áreas cultiváveis, mas não somente isto, a absorção de água e a aeração deste solo também poderão ser afetadas com o aumento da densidade do solo. Argenton et al. (2005) em um solo argiloso com densidade do solo de $1,30 \text{ g/cm}^3$ observaram modificações na porosidade de aeração do solo em função desta densidade, enquanto que Klein (2006) constatou uma densidade limitante de $1,33 \text{ g/cm}^3$ em função do intervalo hídrico ótimo, destacando desta forma que esta densidade limita a absorção de água pelo solo.

Rosolem et al. (1999) observaram que em um solo argiloso a densidade do solo de $1,36 \text{ g/cm}^3$ causou o decréscimo no crescimento do sistema radicular da cultura do milho. Corsini & Ferraudo (1999) observaram redução do crescimento radicular e menor taxa de infiltração de água no solo em função da densidade, que se encontrava na faixa de $1,27$ a $1,57 \text{ g/cm}^3$. Fernandez et al. (1995) observaram inibição no crescimento de raízes, em uma área de textura média sob o cultivo da cultura da soja, com a densidade do solo de $1,52 \text{ g/cm}^3$. Beutler et al. (2005) consideraram uma densidade do solo de $1,23 \text{ g/cm}^3$ como sendo ótima para o cultivo da cultura da soja. Os diferentes resultados relativos ao nível crítico da densidade do solo evidenciam que não há um valor específico, variando de acordo com o tipo do solo (CARVALHO; GOEDERT; ARMANDO, 2004).

A maior densidade do solo encontrada na camada 10 a 20 cm pode está atrelada ao sistema em que se encontrava a área de estudo. A área de estudo se encontrava sem nenhum cultivo, em um sistema de pousio, com baixa trafegabilidade de implementos agrícolas de grande peso. Souza & Alves (2003) em uma área de textura argilosa e cultivo mínimo observaram uma diferença na densidade do solo nas camadas 0 a 10 cm e 10 a 20 cm, constatando uma maior densidade na camada mais profunda, aproximando-se desta forma das condições físicas naturais para este tipo de solo. Segundo Tormena et al. (1998) em uma área sob plantio direto, associado a acentuado tráfego de máquinas e reduzido revolvimento do solo observou-se um aumento da densidade do solo na camada mais superficial, tornando a mesma mais compactada.

3.4 POROSIDADE TOTAL

A porosidade total descrita na tabela 4 resultou com diferentes valores nas camadas de solo estudadas, apresentando uma menor porosidade total na camada 10 a 20 cm (Tabela 4). A

diferença de porosidade total entre as camadas de solo está atrelada a densidade do solo, que foi maior na camada 10 a 20 cm. Taylor & Brar (1991) enfatizaram que em solos compactados há um aumento da densidade do solo, afetando a porosidade total e tornando-se este solo menos poroso, principalmente em função da diminuição de sua macroporosidade.

Tabela 4 - Porosidade total na camada 0 a 10 cm e 10 a 20 cm do solo.

Camada (cm)	Densidade do solo (g/cm³)	Densidade de partículas (g/cm³)	Porosidade (%)
0 - 10	1,264	2,776	54,46
10 - 20	1,324	2,774	52,27

Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

O atributo físico porosidade pode ser modificado pela densidade do solo. Assim, as mesmas causas que promovem aumento da densidade podem causar redução na porosidade total. Genro Junior; Reinert; Reichert, (2004) constataram em um sistema plantio direto, na camada até 10 cm, uma maior densidade do solo e menor porosidade total em função do sistema adotado. A porosidade é facilmente alterada pelas práticas de manejo do solo em uma área de cultivo (EMBRAPA, 1997).

Silveira & Stone (2003) observaram na camada superficial de um solo de textura argilosa, manejado sob o sistema plantio direto, o aumento da densidade e da microporosidade. Por consequência, constataram a redução da macroporosidade e da porosidade total. Estes autores relacionaram como causas prováveis destas modificações o baixo revolvimento do solo e o tráfego de máquinas e implementos agrícolas sob condições inadequadas de umidade do solo.

A densidade do solo (Tabela 3) e a porosidade total (Tabela 4), determinadas na camada 10 a 20 cm mostram-se muito similares aos resultados de Souza & Alves (2003), onde em uma área de textura argilosa e cultivo mínimo constataram na camada 10 a 20 cm uma densidade do solo (1,31 g/cm³) e porosidade total (52 %).

Reichardt & Timm (2004) destacam que a porosidade ideal para um solo argiloso varia de 0,52 a 0,61 m³ m⁻³, respectivamente de 52 % a 61 %, indo ao encontro dos resultados encontrados na área de estudo, entretanto a porosidade total na camada 10 a 20 cm encontra-se no limite para um solo argiloso.

Segundo Camargo & Alleoni (1997) os mesmos caracterizam como um solo ideal para o cultivo de culturas, solos que apresentam no mínimo uma porosidade total de 50 %,

equalizando este percentual total, 33,5 % do volume de poros ocupados pela água e 16,5 % ocupados pelo ar.

3.5 DENSIDADE RELATIVA

A densidade relativa (DR), estimada a partir do modelo proposto por Marcolin & Klein (2011), apresentou diferentes valores entre as camadas estudadas (Tabela 5).

A camada 10 a 20 cm resultou com maior valor da DR, entretanto este resultado era esperado, pois a densidade máxima do solo diminui com o aumento no teor de argila, e também foi constatado uma maior densidade do solo nesta camada. Estes dois atributos físicos são necessários para determinar a densidade relativa. O maior valor da densidade do solo e o menor valor da densidade máxima (estimada em função do teor de argila) resultou em maior DR, visto que essa tem relação direta com a densidade do solo, porém, tem relação inversa com a densidade máxima.

Tabela 5 - Densidade relativa na camada 0 a 10 cm e 10 a 20 cm do solo.

Camada (cm)	Densidade do solo (g/cm ³)	Densidade máxima	
		estimada (g/cm ³)	Densidade relativa estimada
0 - 10	1,264	1,443	0,87
10 - 20	1,324	1,379	0,96

Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

Reinert et al. (2008) consideram solos não compactados e sem barreiras de impedimento ao crescimento radicular de plantas, os solos que apresentam uma densidade relativa dentro valores estimados em uma faixa de 0,80 a 0,90. Com base nos resultados apresentados por Reinert et al. (2008) pode se prever que a camada estudada 0 a 10 cm não se encontra com uma barreira física que cause interferência ao crescimento radicular, promovendo desta forma um bom desenvolvimento de plantas até uma profundidade de 10 cm no solo.

Os solos considerados muito compactados restringem o desenvolvimento radicular de plantas, ocasionam engrossamento e deformações no sistema radicular, promovendo desta forma crescimento vertical de raízes, concentrando-se nas camadas superficiais do solo. Os solos que apresentam uma densidade relativa > 0,95 são considerados muito compactados (REINERT et al., 2008). Assim, o resultado obtido na camada de 10 a 20 cm situa-se neste

contexto de compactação, indicando, portanto, que esta camada do solo apresenta-se restritiva ao crescimento radicular de plantas.

Em um solo de textura argilosa, cultivado sob um sistema consolidado de plantio direto a mais de 10 anos constatou-se uma densidade relativa de 0,88 na camada superficial até 10 cm do solo, entretanto em uma camada de 10 a 20 cm a densidade relativa mostrou-se menor, apresentando um resultado de 0,86 (MARCOLIN & KLEIN, 2011). As diferenças encontradas entre os resultados obtidos neste estudo e os obtidos por Marcolin & Klein (2011) podem ser explicados pelos diferentes manejos adotados. Neste estudo a área ficou em pousio (sem cultivo) por mais de 5 anos, enquanto no estudo realizado por Marcolin & Klein (2011) o solo estava sendo manejado no sistema plantio direto por mais de 10 anos (SPD consolidado).

Klein (2006) constatou em um solo de textura argilosa que a densidade relativa de 0,715 proporcionou condições adequadas ao desenvolvimento de plantas. Beutler et al. (2005) mencionaram que solos com densidade relativa menor que 0,80 influenciaram o desenvolvimento de plantas, pelo fato do solo ser mais solto, aumentando sua aeração e diminuindo o seu volume de água disponível. Lindstron & Voorhess (1994) destacaram que quando a densidade relativa foi menor que 0,80 ocorreu um menor armazenamento de água, diminuindo a disponibilidade desta para as plantas.

Liepic et al. (1991) observaram que a densidade relativa de 0,91, em solo argiloso, promoveu decréscimo na produtividade da cultura da cevada. Cabe destacar que em um mesmo tipo de solo, densidade relativa de 0,81 possibilitou a cultura da cevada expressar seu máximo potencial produtivo (CARTER, 1990).

Torres & Saraiva (1999) constataram que a produtividade da cultura da soja decresceu em função da densidade relativa, dentro de uma faixa de valores de 0,84 a 0,87. Ferreras et al. (2001) observaram prejuízos na produtividade da cultura da soja em função de densidades relativas compreendidas entre 0,85 e 0,87, quando cultivada sob diferentes sistemas de cultivo, tais como sistema plantio direto com escarificação e sistema plantio direto propriamente dito, respectivamente.

3.6 RESISTÊNCIA A PENETRAÇÃO

Com base nos resultados registrados na tabela 6 pode-se observar que a camada de 5 a 10 e 10 a 15 cm apresentaram os maiores valores de resistência do solo à penetração, conferindo, desta forma, maior grau de compactação à estas camadas. Os valores da densidade do solo e da densidade relativa foram maiores na camada 10 a 20 cm, indo ao

encontro dos resultados obtidos com esta variável de estudo, entretanto, em função do maior detalhamento de camadas avaliadas com esta variável (a cada intervalo de 5 cm) a resistência à penetração indicou maior grau de compactação na camada 5 a 15 cm do solo.

Tabela 6 - Resistência à penetração na camada 0 a 5 cm, 5 a 10 cm, 10 a 15 cm e 15 a 20 cm do solo.

Camada (cm)	Resistência à penetração (MPa)
0 - 5	2,14
5 - 10	2,71
10 - 15	2,50
15 - 20	2,30

Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

A resistência do solo à penetração pode interferir de forma significativa no desenvolvimento radicular de uma planta. Vários estudos com esta variável indicam valores críticos de resistência à penetração. Grant & Lanfond (1993) mencionam que valores de resistência à penetração compreendidos entre 1,5 a 3,0 MPa podem ser considerados altos. Arshad et al. (1996) consideraram que a resistência à penetração é alta quando forem observados valores entre 2,0 a 4,0 MPa. Os valores críticos diferem em função do tipo de solo e a espécie a ser cultivada (GENRO JUNIOR; REINERT; REICHERT, 2004).

Com base nos resultados encontrados por Grant & Landfond (1993); Arshad et al. (1996), pode-se inferir que as camadas 0 a 5, 5 a 10, 10 a 15 e 15 a 20 cm podem apresentar algum impedimento físico, tornando-se um problema. Dalchiavon et al. (2011) observaram que a cultura da soja desenvolveu-se normalmente, não restringindo seu desenvolvimento radicular em um solo que apresentava uma resistência à penetração de 2,1 MPa. Beutler & Centurion (2004) em um estudo constataram menor compactação na camada 5 cm e em função disso observou-se maior concentração de raízes superficialmente.

Os resultados encontrados por Dalchiavon et al. (2011); Beutler & Centurion (2004) indicam que espécies que venham a ser cultivadas na a área em estudo poderão apresentar adequado desenvolvimento na a camada de 0 a 5 cm, entretanto nas camadas subsequentes barreiras físicas poderão limitar este desenvolvimento, com maior concentração superficial de raízes no solo.

Nas camadas de 5 a 10, 10 a 15 e 15 a 20 cm foram observados valores de a resistência à penetração que podem ser considerados alto, ou seja, acima de 2 MPa, porém Klein &

Câmara (2007) não observaram nenhuma influência ao desenvolvimento e a produtividade final da cultura da soja, em um solo de textura argilosa cuja a resistência à penetração encontrava-se dentro da faixa de 2,0 a 3,0 MPa. Diferentemente de Klein & Câmara (2007), Secco (2003) observou decréscimo de 18,35 % na produtividade da cultura do trigo cultivado em um solo de textura argilosa em função da resistência à penetração de 2,65 MPa.

Klein & Câmara (2007) e Secco (2003) estudaram um mesmo tipo de solo, entretanto os diferentes cultivos (soja e trigo), com diferentes sistemas de raízes pode explicar os diferentes resultados apresentados.

A resistência à penetração varia em função da classe textural do solo e a espécie cultivada (RICHART et al., 2005). Em um Latossolo Vermelho de textura média constatou-se na camada 0 a 20 cm que a resistência à penetração se encontrava em uma faixa de 1,99 a 2,07 MPa, valores estes próximos aos críticos, entretanto nesta faixa de valores houve aumento de diâmetro e massa de matéria seca em plantas de soja (BEULTER & CENTURION, 2004). Dentro deste mesmo estudo Beulter & Centurion (2004) constataram na camada 5 a 10 cm e 10 a 15 cm decréscimo de produtividade na cultura da soja associada a uma resistência à penetração de 0,85 MPa, valor este abaixo do crítico. Sob tal condição de compactação observaram uma redução de 18% na densidade radicular, e indicaram deve-se considerar como valor crítico uma redução de 40% da densidade radicular (PABIN et al., 1998).

Dexter & Whats (2000) em um solo com boas condições de umidade observaram que o desenvolvimento radicular não enfrentou restrições, mesmo em condições de resistência à penetração superior a 4 MPa, consideradas conforme Arshad et al. (1996) muito alta e que causaria grandes restrições ao desenvolvimento radicular de uma cultura.

Em um solo a resistência à penetração e a umidade possuem uma espécie de relação designada potencial (Busscher et al., 1997), ou seja, pequenas alterações no volume de água promovem grandes variações na resistência de um solo à penetração (Silveira et al., 2010). Evidenciando a influência da umidade do solo, determinou-se neste estudo a umidade de cada camada amostrada, entretanto não se encontrou uma metodologia que pudesse ser adaptada as condições de avaliação realizadas no campo, não sendo possível desta forma corrigir a resistência à penetração em função da umidade do solo.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os valores da textura, densidade de partículas e da porosidade total podem ser considerados normais para um solo de textura argilosa, em ambas as camadas estudadas, porém a camada 10 a 20 cm apresenta valor de porosidade total quase limitante.

A camada 0 a 10 cm possui atributos físicos adequados ao desenvolvimento de uma planta, entretanto, pode-se inferir que a camada de 10 a 20 cm está compactada, em função dos resultados obtidos relativos à densidade do solo e a densidade relativa. A densidade relativa estimada para a camada 10 a 20 cm indica a necessidade da adoção de medidas de correção da compactação, seja por meio da escarificação, com resultados de curto prazo, ou por meio da semeadura de espécies com diferentes sistemas radiculares, com resultados de médio a longo prazo, em sistema de rotação de culturas, aliadas a outras práticas de manejo do solo.

A resistência à penetração apresenta maiores valores na camada 5 a 15 cm do solo, diferindo desta forma dos resultados obtidos para as variáveis estudadas densidade do solo e a densidade relativa, atribuindo desta forma um impedimento físico já na camada mais próxima da superfície.

Devido a grande variabilidade de resultados encontrados na literatura revisada para os atributos físicos densidade do solo, densidade relativa e resistência à penetração, torna-se interessante nesta área conduzir um experimento com diferentes espécies de plantas para avaliar se de fato as camadas compactadas causam alguma restrição ao crescimento e desenvolvimento radicular.

REFERÊNCIAS

- ANDREOLA, Faustino; COSTA, L. M.; OLSZEWSKI, Nelci. 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**, v. 24, n. 4, 2000.
- ARGENTON J.; ALBUQUERQUE, J.A.; BAYER, C. & WILDNER, L.P. Comportamento de atributos relacionados com a forma da estrutura de Latossolo Vermelho sob sistemas de preparo e plantas de cobertura. *R. Bras. Ci. Solo*, 29: 425-435, 2005.
- ARSHAD, M. A. et al. Physical tests for monitoring soil quality. In: DORAN, J. W.; JONES, A. J. (Eds.). *Methods for assessing soil quality*. Madison: Soil Science Society of America, 1996. p. 123-141.
- BEUTLER, Amauri Nelson; CENTURION, José Frederico. Compactação do solo no desenvolvimento radicular e na produtividade da soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, n. 6, p. 581-588, 2004.
- BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F.; ROQUE, C. G.; FERRAZ, M. V. Densidade relativa ótima de Latossolos Vermelhos para a produtividade de soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, p.843-849, 2005.
- BEUTLER, A.N.; SILVA, M.L.N.; CURI, N.; FERREIRA, M.M.; CRUZ, J.C.; PEREIRA FILHO, I.A. Resistência à penetração e permeabilidade de Latossolo Vermelho distrófico típico sob sistemas de manejo na região dos cerrados. **Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, p. 167-77, 2001.
- BUSSCHER, W.J.; BAUER, P.J.; CAMP, C.R. & SOJKA, R.E. Correction of cone index for soil water content differences in a coastal plain soil. *Soil Till. Res.*, 43:205-217, 1997.
- CAMARGO, O. A.; ALLEONI, L. R. F. **Compactação do solo e o desenvolvimento das plantas**. Piracicaba: ESALQ, 1997. 132p.
- CARVALHO, Eduardo Jorge Maklouf; DE SOUZA FIGUEIREDO, Matozinho; DA COSTA, Liovando Marciano. Comportamento físico-hídrico de um Podzólico Vermelho-Amarelo câmbico fase terraço sob diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 34, n. 2, p. 257-265, 1999.
- CARTER, M. R. Relative measures of soil bulk density to characterize compaction in tillage studies on fine sandy loams. **Canadian Journal of Soil Science**, v. 70, n. 3, p. 425-433, 1990.
- CARVALHO, R.; GOEDERT, W. J.; ARMANDO, M. S. Atributos físicos da qualidade de um solo sob sistema agroflorestral. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 39, n. 11, p. 1153-1155, 2004.
- CERQUEIRA SILVEIRA, Dreid de et al. Relação umidade versus resistência à penetração para um Argissolo Amarelo distrocoeso no recôncavo da Bahia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 3, 2010.
- CINTRA, F.L.D. & MIELNICZUK, J. Potencial de algumas espécies para a recuperação de solos com propriedades físicas degradadas. *R. Bras. Ci. Solo*, 7: 197-201, 1983.

CORSINI, P. C.; FERRAUDO, A. S. Efeitos de sistemas de cultivo na densidade e macroporosidade do solo e no desenvolvimento radicular do milho em Latossolo Roxo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 34, n. 2, p. 289-298, 1999.

COSTA, F. de S. et al. Propriedades físicas de um Latossolo Bruno afetadas pelos sistemas plantio direto e preparo convencional. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 27, n. 3, 2003.

DALCHIAVON, Flávio Carlos et al. Produtividade da soja e resistência mecânica à penetração do solo sob sistema plantio direto no cerrado brasileiro. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v. 41, n. 1, 2011.

DE MEDEIROS, Gerson Araújo et al. Influência do sistema de preparo e manejo de um Latossolo Vermelho nas suas propriedades físico-hídricas. *Geociências*, p. 453-465, 2009.

DE QUÍMICA, CQFS-Comissão; DO SOLO, Fertilidade. Manual de Calagem e Adubação para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina. **Porto Alegre, SBCS. 376p.[Links]**, 2016.

DE SOUZA, Zigomar Menezes; ALVES, Marlene Cristina. Propriedades físicas e teor de matéria orgânica em um Latossolo Vermelho de cerrado sob diferentes usos e manejos. *Acta Scientiarum. Agronomy*, v. 25, n. 1, p. 27-34, 2003.

DEXTER, A.R.; WATTS, C. Tensile strength and friability. In: SMITH, K.; MULLINS, C. *Soil and environmental analysis, physical methods*. New York: Marcel Dekker, 2000. p.401-430.

DNER- Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. DNER-ME 093/94: **Solos – determinação da densidade real**. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. Rio de Janeiro, RJ. 1994.

EMBRAPA: EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de métodos de análise de solo**. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Rio de Janeiro: EMBRAPACNPS, 1997. 212p.

FERNANDEZ, E.M.; CRUSCIOL, C.A.C.; THIMOTEO, C.M. de S. & ROSOLEM, C.A. Matéria seca e nutrição da soja em razão da compactação do solo e adubação fosfatada. *Científica*, 23: 117 -132, 1995.

FERRERAS, L. A.; BATTISTA, J. J.; AUSILIO, A.; PECORARI, C. Parámetros físicos del suelo em condiciones no perturbadas y bajo laboro. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 36, n. 1, p. 161-170, 2001.

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

FREITAS, P.L. Aspectos físicos e biológicos do solo. In: LANDERS, J.N., ed. **Experiências de plantio direto no Cerrado**. Goiânia, APDC, 1994. p.199-213.

GEE, G.W. & BAUDER, J.W. Análise de tamanho de partícula. Em: KLUTE, A., ed. Métodos de análise de solo. Parte 1. Métodos físicos e mineralógicos. 2.ed. Madison, Sociedade Americana de Agronomia, Soil Science Society of America, 1986. p. 383-411.

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

GRANT, C.A. & LAFOND, G.P. The effects of tillage systems and crop sequences on soil bulk density and penetration resistance on a clay soil in southern Saskatchewan. *Can. J. Soil Sci.*, 73:223-232, 1993.

IVONIR GUBIANI, Paulo; REICHERT, José Miguel; REINERT, Dalvan José. Interação entre disponibilidade de água e compactação do solo no crescimento e na produção de feijoeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, n. 3, 2014.

KLEIN, V. A. Densidade relativa – um indicador da qualidade física de um Latossolo Vermelho. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v.5, n1, p.26-32, 2006.

KLEIN, V. A. **Física do solo**. 3ª. ed. Passo Fundo: UPF, 2014.

KLEIN, Vilson Antonio; KURYLO CAMARA, Rodrigo. Rendimento da soja e intervalo hídrico ótimo em Latossolo Vermelho sob plantio direto escarificado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, n. 2, 2007.

LINDSTRON, M.J. & VOORHEES, W.B. Resposta de culturas temperadas à compactação do solo. Em: SOANE, B.D. & van OUWERKERK, C. Compactação do solo na produção agrícola. Londres, Elsevier, 1994. p.265-286. (Desenvolvimentos em Engenharia Agrícola, 2)

LIPIEC, J.; HAKANSSON, I.; TARKIEWICZ, S.; KOSSOWSKI, J. Soil physical properties and growth of spring barley as related to the degree of compactness of two soils. **Soil and Tillage Research**, v. 19, n. 2, p. 307-317, 1991.

MARCOLIN, Clovis Dalri; KLEIN, Vilson Antonio. Determinação da densidade relativa do solo por uma função de pedotransferência para a densidade do solo máxima. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 33, n. 2, 2011.

PABIN, J.; LIPIEC, J.; WODEK, S. Critical soil bulk density and strength for pea seedling root growth as related to other soil factors. **Soil and Tillage Research**, v.19, p.131-143, 1998.

PEDÓ, F. Rendimento e distribuição de raízes de seis espécies de plantas em dois níveis de compactação do solo. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1986. (Tese de Mestrado)

PEREIRA, L. C.; TOSTO, S. G.; CARVALHO, J. P. Erosão do solo e valoração de serviços ambientais. **Embrapa Meio Ambiente-Capítulo em livro científico (ALICE)**.

PREFEITURA Municipal de Erechim. **Erechim- Construindo nossa cidade**, 2018. Disponível em: <<http://www.pmerechim.rs.gov.br/pagina/145/clima>>. Acesso em: 03/04/2018 Abril 2018.

- RAIJ, B. van. Melhorando o ambiente radicular em subsuperfície. 2010. **Boas Práticas para Uso Eficiente de Fertilizantes. Piracicaba, SP: International Plant Nutrition Institute-Brasil (IPNI)**, v. 1, p. 349-382.
- REICHARDT, K. & TIMM, L.C. **Solo-planta-atmosfera: conceitos, processos e aplicações**. 1a. ed. Barueri: Editora Manole, 478 p., 2004.
- REICHERT, J.M.; REINERT, D.J. & BRAIDA, J.A. Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. *Ci. Amb.*, 27:29-48, 2003.
- REICHERT, José Miguel; SUZUKI, L. E. A. S.; REINERT, Dalvan José. Compactação do solo em sistemas agropecuários e florestais: identificação, efeitos, limites críticos e mitigação. **Tópicos em ciência do solo. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, v. 5, p. 49-134, 2007.
- REINERT, Dalvan José et al. Limites críticos de densidade do solo para o crescimento de raízes de plantas de cobertura em Argissolo Vermelho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 5, 2008.
- REINERT, D. ; REICHERT, J.M. **Propriedades físicas do solo**. Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, p. 18. 2006.
- RICHART, Alfredo et al. Compactação do solo: causas e efeitos. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 26, n. 3, 2005.
- ROSOLEM, Ciro Antonio et al. Crescimento radicular de plântulas de milho afetado pela resistência do solo à penetração. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 34, n. 5, p. 821-828, 1999.
- SACHETTI, Álisson Silveira; ROJAS, José Waldomiro Jimenez; HEINECK, Karla Salvagni. Caracterização Geotécnica dos Solos de Passo Fundo e Erechim, e Geológica da Rocha de Passo Fundo. **Revista de Engenharia Civil IMED**, v. 1, n. 1, p. 11-17, 2014.
- SANTOS, Reginaldo Ferreira; CARLESSO, Reimar. Déficit hídrico e os processos morfológico e fisiológico das plantas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 2, n. 3, p. 287-294, 1998.
- SCHERER, E.E. Wechselwirkungen zwischen phosphatdüngung und organischer Düngung in Abhängigkeit vom Plazierungsverfahren sowie Besonderheiten der Phosphatdynamik in Latosolen Südbrasilens. Bonn, Universität Bonn, 1993. 132p. (Tese de Doutorado)
- SECCO, D. Estados de compactação de dois Latossolos e suas implicações no comportamento mecânico e na produtividade de culturas. Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, 2003. 110p. (Tese de Doutorado)
- SILVA, Ivandro de Franca da; MIELNICZUK, Joao. Sistemas de cultivo e características do solo afetando a estabilidade de agregados. **Revista brasileira de ciência do solo. Campinas. Vol. 22, n. 2 (abr./jun. 1998), p. 311-317, 1998.**

SILVA, V. R. et al. Fatores controladores da compressibilidade de um Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico arênico e de um Latossolo Vermelho distrófico típico. I-Estado inicial de compactação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, n. 1, 2002.

SILVEIRA, P.M.; STONE, L.F. Sistemas de preparo do solo e rotação de culturas na produtividade de milho, soja e trigo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v.7, n.2, p.240-244, 2003.

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

SOUSA SILVA, Antonio et al. Argila e matéria orgânica e seus efeitos na agregação em diferentes usos do solo. **Ciência Rural**, v. 44, n. 10, 2014.

TAYLOR, H.M.; BRAR, G.S. Effect of soil compaction on root development. **Soil and Tillage Research**, v.19, p.111-119, 1991.

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

TORRES, E.; SARAIVA, O. F. **Camadas de impedimento mecânico do solo em sistemas agrícolas com a soja**. Londrina: Embrapa Soja, 1999. (Circular técnica, 23).

VEZZANI, F. M. & MIELNICZUK, J. Agregação e estoque de carbono em Argissolo submetido a diferentes práticas de manejo agrícola. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v.35, p.213-223, 2011.

VIEIRA, Márcio Luis; KLEIN, Vilson Antonio. Propriedades físico-hídricas de um Latossolo Vermelho submetido a diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, n. 6, 2007.

VOMOCIL, J.A. Porosidade. Em: PRETO, C.A. (Ed.) Métodos de análise de solo. 1. Propriedades físicas e mineralógicas, incluindo estatísticas de medição e amostragem. Madison: Sociedade Americana de Agronomia, 1986. v.1, p.299-314.

ANEXO A – QUADROS

Quadro 1 - Tempo da sedimentação do silte em segundos para uma profundidade (h) de 5 cm em função da temperatura e da densidade das partículas do solo, utilizando a equação 14.

Temp (°C)	Densidade das partículas (g.cm ⁻³)								
	2,75	2,76	2,77	2,78	2,79	2,80	2,81	2,82	2,83
5	31.9	31.7	31.5	31.3	31.2	31.0	30.8	30.7	30.5
6	30.9	30.7	30.6	30.4	30.2	30.1	29.9	29.7	29.6
7	30.0	29.8	29.6	29.5	29.3	29.2	29.0	28.8	28.7
8	29.1	28.9	28.8	28.6	28.4	28.3	28.1	28.0	27.8
9	28.3	28.1	27.9	27.8	27.6	27.5	27.3	27.2	27.0
10	27.4	27.3	27.1	27.0	26.8	26.7	26.5	26.4	26.2
11	26.7	26.5	26.4	26.2	26.1	25.9	25.8	25.7	25.5
12	25.9	25.8	25.7	25.5	25.4	25.2	25.1	24.9	24.8
13	25.2	25.1	25.0	24.8	24.7	24.5	24.4	24.3	24.1
14	24.6	24.4	24.3	24.2	24.0	23.9	23.8	23.6	23.5
15	23.9	23.8	23.7	23.5	23.4	23.3	23.1	23.0	22.9
16	23.3	23.2	23.0	22.9	22.8	22.7	22.5	22.4	22.3
17	22.7	22.6	22.5	22.3	22.2	22.1	22.0	21.8	21.7
18	22.1	22.0	21.9	21.8	21.7	21.5	21.4	21.3	21.2
19	21.6	21.5	21.4	21.2	21.1	21.0	20.9	20.8	20.7
20	21.1	21.0	20.8	20.7	20.6	20.5	20.4	20.3	20.2
21	20.6	20.5	20.3	20.2	20.1	20.0	19.9	19.8	19.7
22	20.1	20.0	19.9	19.7	19.6	19.5	19.4	19.3	19.2
23	19.6	19.5	19.4	19.3	19.2	19.1	19.0	18.9	18.8
24	19.2	19.1	18.9	18.8	18.7	18.6	18.5	18.4	18.3
25	18.7	18.6	18.5	18.4	18.3	18.2	18.1	18.0	17.9
26	18.3	18.2	18.1	18.0	17.9	17.8	17.7	17.6	17.5
27	17.9	17.8	17.7	17.6	17.5	17.4	17.3	17.2	17.1
28	17.5	17.4	17.3	17.2	17.1	17.0	16.9	16.8	16.7
29	17.1	17.0	16.9	16.8	16.7	16.7	16.6	16.5	16.4
30	16.8	16.7	16.6	16.5	16.4	16.3	16.2	16.1	16.0

Fonte: Gee & Bauder (1986).

Quadro 2 - Tempo da sedimentação da argila em horas, minutos e segundos para uma profundidade (h) de 5 cm em função da temperatura e da densidade das partículas do solo, utilizando a equação 14.

Temp (°C)	Densidade das partículas (g.cm ⁻³)								
	2,75	2,76	2,77	2,78	2,79	2,80	2,81	2,82	2,83
5	5.32.10	5.30.16	5.28.24	5.26.34	5.24.44	5.22.56	5.21.09	5.19.23	5.17.38
6	5.22.06	5.20.16	5.18.27	5.16.40	5.14.54	5.13.09	5.11.25	5.09.42	5.08.01
7	5.12.23	5.10.36	5.08.51	5.07.07	5.05.24	5.03.42	5.02.01	5.00.22	4.58.43
8	5.03.06	5.01.22	4.59.40	4.57.59	4.56.19	4.54.41	4.53.03	4.51.26	4.49.51
9	4.54.23	4.52.42	4.51.03	4.49.25	4.47.48	4.46.12	4.44.37	4.43.04	4.41.31
10	4.45.57	4.44.20	4.42.43	4.41.08	4.39.34	4.38.00	4.36.28	4.34.33	4.33.27
11	4.37.58	4.36.24	4.34.50	4.33.17	4.31.46	4.30.15	4.28.46	4.27.17	4.25.50
12	4.30.18	4.28.46	4.27.15	4.25.45	4.24.16	4.22.48	4.21.21	4.19.55	4.18.30
13	4.22.58	4.21.28	4.19.59	4.18.31	4.17.05	4.15.40	4.14.15	4.12.51	4.11.28
14	4.15.58	4.14.31	4.13.05	4.11.40	4.10.15	4.08.52	4.07.29	4.06.08	4.04.47
15	4.09.17	4.07.52	4.06.28	4.05.05	4.03.43	4.02.22	4.01.01	3.59.42	3.58.23
16	4.02.51	4.01.29	4.00.07	3.58.46	3.57.26	3.56.07	3.54.48	3.53.31	3.52.15
17	3.56.39	3.55.18	3.53.58	3.52.40	3.51.22	3.50.05	3.48.48	3.47.33	3.46.18
18	3.50.41	3.49.26	3.48.08	3.46.51	3.45.35	3.44.20	3.43.06	3.41.52	3.40.40
19	3.45.01	3.43.44	3.42.28	3.41.13	3.39.59	3.38.46	3.37.34	3.36.22	3.35.11
20	3.39.34	3.38.19	3.37.06	3.35.52	3.34.40	3.33.29	3.32.18	3.31.08	3.30.00
21	3.34.18	3.33.05	3.31.53	3.30.42	3.29.31	3.28.21	3.27.12	3.26.04	3.24.57
22	3.29.14	3.28.02	3.26.52	3.25.42	3.24.33	3.23.25	3.22.18	3.21.11	3.20.06
23	3.24.22	3.23.13	3.22.04	3.20.56	3.19.49	3.18.42	3.17.36	3.16.31	3.15.27
24	3.19.38	3.18.30	3.17.23	3.16.16	3.15.10	3.14.06	3.13.01	3.11.58	3.10.55
25	3.15.07	3.14.01	3.12.55	3.11.50	3.10.46	3.09.43	3.08.40	3.07.38	3.06.36
26	3.10.44	3.09.39	3.08.35	3.07.31	3.06.29	3.05.27	3.04.25	3.03.24	3.02.24
27	3.06.31	3.05.27	3.04.24	3.03.22	3.02.21	3.01.20	3.00.20	2.59.21	2.58.22
28	3.02.27	3.01.24	3.00.23	2.59.22	2.58.22	2.57.23	2.56.24	2.55.26	2.54.29
29	2.58.29	2.57.28	2.56.28	2.55.29	2.54.30	2.53.32	2.52.35	2.51.38	2.50.42
30	2.54.41	2.53.41	2.52.43	2.51.45	2.50.17	2.49.50	2.48.54	2.47.58	2.47.04

Fonte: Gee & Bauder (1986).