

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA FARROUPILHA
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA
CURSO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA**

**ANÁLISE DAS PROPRIEDADES FÍSICAS DE UM ARGISSOLO SOB
DIFERENTES MANEJOS E INTENSIDADE DE TRÁFEGO AGRÍCOLA**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO II

Lucas Souza Zemolin

Alegrete, 2017

**ANÁLISE DAS PROPRIEDADES FÍSICAS DE UM ARGISSOLO SOB
DIFERENTES MANEJOS E INTENSIDADE DE TRÁFEGO AGRÍCOLA**

Lucas Souza Zemolin

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Agrícola, do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Farroupilha (IF Farroupilha, RS) e da Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de
Bacharel em Engenharia Agrícola.

Orientador (a): Prof. Chaiane Guerra da Conceição

**Alegrete, RS, Brasil
2017**

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Farroupilha
Universidade Federal do Pampa
Curso de Engenharia Agrícola

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,
aprova o Trabalho de Conclusão de Curso II

**ANÁLISE DAS PROPRIEDADES FÍSICAS DE UM ARGISSOLO SOB
DIFERENTES MANEJOS E INTENSIDADE DE TRÁFEGO AGRÍCOLA**

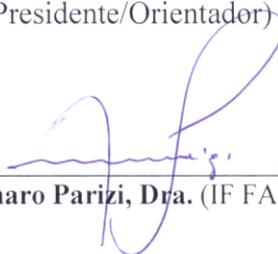
elaborado por
Lucas Souza Zemolin

Como requisito parcial para a obtenção de grau de
Bacharel em Engenharia Agrícola

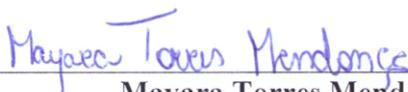
COMISSÃO EXAMINADORA



Chaiane Guerra da Conceição, MSc (IF FARROUPILHA)
(Presidente/Orientador)



Ana Rita Costenaro Parizi, Dra. (IF FARROUPILHA)



Mayara Torres Mendonça (UFSM)

Alegrete, 30 de novembro de 2017.

RESUMO

Trabalho de Conclusão de Curso II

Curso de Engenharia Agrícola

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Farroupilha, RS, Brasil

Universidade Federal do Pampa, RS, Brasil

ANÁLISE DAS PROPRIEDADES FÍSICAS DE UM ARGISSOLO SOB DIFERENTES MANEJOS E INTENSIDADE DE TRÁFEGO AGRÍCOLA

AUTOR: LUCAS SOUZA ZEMOLIN

ORIENTADORA: CHAIANE GUERRA DA CONCEIÇÃO

COORIENTADORA: ANA RITA COSTENARO PARIZI

ALEGRETE, 30 DE NOVEMBRO DE 2017.

Com o aumento da produtividade no campo, é necessário encontrar formas mais conservacionistas de desenvolvimento do uso da terra. Objetivou-se com esse estudo determinar as propriedades físicas do solo em relação as diferentes formas de manejo (plantio direto e plantio convencional) e diferentes intensidades de tráfego de máquinas agrícolas. O experimento foi realizado no ano de 2017, em um Argissolo Vermelho Distrófico arênico, na área experimental do Instituto Federal Farroupilha - Campus Alegrete. Os manejos do solo analisados foram: plantio direto (PD) e preparo convencional (PC). Para a determinação das propriedades físicas, foram coletadas amostras de solo de diferentes camadas (0-10, 10-20, 20-30, 30-40 cm), em diferentes condições de manejo e intensidade de tráfego, sendo esta, de uma a três passagens sobre as três faixas que serão analisadas. A partir disto, foram determinadas: umidade do solo; densidade de solo e partículas; resistência do solo a penetração. Os dados obtidos e submetidos a análise de variância, onde apresentam significância ao nível de 1 e 5% de probabilidade para as propriedades físicas do solo, tendo significância para aproximadamente todas as verificações, como também suas respectivas interações de dados. Posteriormente a análise de variância, observou-se que algumas características modificaram-se conforme o tráfego de máquinas agrícolas intensificava-se, contudo as mesmas também responderam positivamente aos fatores de manejos do solo e profundidades de análises.

Palavras-chave: Características do solo, plantio direto, plantio convencional.

ABSTRACT

Conclusion of course work

Course of Agricultural Engineering

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Farroupilha, RS, Brasil

Universidade Federal do Pampa, RS, Brasil

ANALYSIS OF THE PHYSICAL PROPERTIES OF AN ARGISSOLE UNDER DIFFERENT MANAGEMENT AND INTENSITY OF AGRICULTURAL TRAFFIC

AUTHOR: LUCAS SOUZA ZEMOLIN

ADVISOR: CHAIANE GUERRA DA CONCEIÇÃO

COADVISOR: ANA RITA COSTENARO PARIZI

ALEGRETE, NOVEMBER 30, 2017.

With increasing productivity in the field, it is necessary to find more conservationist forms of land use development. The objective of this study was to determine the physical properties of the soil in relation to the different forms of management (no-tillage and conventional tillage) and different intensities of traffic of agricultural machines. The experiment was carried out in 2017, in an Arsenic Red Dystrophic Alder, in the experimental area of the Farroupilha Federal Institute - Campus Alegrete. Soil managements analyzed were: no-tillage (PD) and conventional tillage (PC). For the determination of the physical properties, soil samples of different layers (0-10, 10-20, 20-30, 30-40 cm) were collected in different management conditions and traffic intensity, from one to three passages on the three tracks that will be analyzed. From this, soil moisture was determined; soil and particle density; soil penetration resistance. The data obtained and submitted to analysis of variance, where they present significance at the level of 1 and 5% of probability for the physical properties of the soil, having significance for approximately all the verifications, as well as their respective data interactions. After the analysis of variance, it was observed that some characteristics were modified as the traffic of agricultural machines intensified, however they also responded positively to the factors of soil management and depths of analysis.

Key words: Soil characteristics, no-tillage, conventional tillage.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	7
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	9
2.2	Manejo do solo	9
2.3	Características físicas do solo	10
2.3.1	Umidade do solo	10
2.3.2	Densidade do solo	11
2.3.3	Densidade de partículas	12
2.3.4	Porosidade total do solo	13
2.3.5	Resistência do solo a penetração	15
2.4	Tráfego de máquinas agrícolas	16
2.4.1	Interação máquina/solo	17
2.4.2	Influência do tráfego de máquinas nas propriedades físicas	18
3	MATERIAIS E MÉTODOS	19
3.2	Local, época e condução do experimento	19
3.3	Determinação das características físicas do solo	20
3.3.1	Umidade gravimétrica, umidade volumétrica e densidade do solo	21
3.3.2	Densidade de partículas	22
3.3.3	Porosidade total do solo	23
3.3.4	Resistência do solo a penetração	24
3.4	Análise estatística	24
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	25
4.1	Umidade gravimétrica	25
4.2	Umidade volumétrica	26
4.3	Densidade do solo	27
4.4	Densidade de partículas	29
4.5	Porosidade total do solo	31
4.6	Resistência do solo a penetração	32
5	CONCLUSÃO	34
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	35
	APÊNDICE A	41
	APÊNDICE B	43

1 INTRODUÇÃO

O Rio Grande do Sul é um dos principais polos de agricultura do país, tendo área cultivada de aproximadamente nove milhões de hectares, sendo, cerca de 90% dessa área voltada à produção de grãos (cereais e oleaginosas), que configura como principal atividade agrícola, já que está presente em praticamente todas as regiões do estado. Sendo assim, a agricultura se destaca como objeto de grande importância no estado, visto que o produto interno bruto (PIB) tem participação com valor próximo a 6,8 %, cerca de 32,7 bilhões de reais. Visto sua importância econômica, socialmente assume posto significativo já que ocupa posição estratégica para a oferta de diversos produtos agrícolas e está entre os principais exportadores a nível nacional (FUNDAÇÃO DE ECONOMIA E ESTATÍSTICA, 2015).

A agricultura, como ciência em si, busca pesquisar meios mais “humanos” e menos corrosivos no meio que está inserido, considerando também o fator econômico. Dentro desta procura, por meios mais sustentáveis, surgem novos processos para solucionar grandes déficits que o agricultor enfrenta por suscetíveis anos.

A caracterização do solo, em relação as propriedades físicas, é de vital relevância para que, conforme se conheçam, como funcionam e como afetam a estrutura do solo e a forma como ele é tratado, possibilitem desenvolver técnicas para que se realize o manejo adequado conforme tais características.

Dentro deste aspecto, o tráfego de máquinas e implementos agrícolas é um dos principais responsáveis pelas mudanças de algumas características do solo, devido à pressão exercida sobre o mesmo durante os cultivos. Fato este, que está diretamente relacionado a evolução da agricultura, que com o aumento da área cultivada, ocorre a modernização das máquinas, ocasionando no aumento de suas dimensões e pesos, gerando desta maneira, cargas de pressão ainda mais elevadas sobre o solo.

Objetivo geral

O presente estudo teve como objetivo determinar as propriedades físicas do solo em relação a diferentes formas de manejo (plantio direto e plantio convencional) e diferentes intensidades de tráfego de máquinas agrícolas.

Objetivos específicos

- Analisar as características físicas do solo, verificando assim, possíveis valores que destoam da condição ideal;
- Avaliar o fluxo de máquinas no solo, possibilitando apurar como o mesmo afeta as condições físicas do solo;
- Analisar a influência do tráfego de máquinas nas propriedades físicas;
- Avaliar a influência das propriedades físicas no manejo no solo.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste tópico, será abordado assuntos relacionados aos diferentes manejos (plantio direto, plantio convencional e cultivo mínimo), como também, as propriedades físicas do solo, tais como, umidade gravimétrica e volumétrica, densidade do solo, densidade de partículas, porosidade total do solo, resistência do solo a penetração e a correlação das características em função da intensidade do tráfego de máquinas sobre o solo.

2.2 Manejo do solo

O manejo do solo é responsável por determinar práticas que serão adotadas no preparo do solo para a inserção da cultura, sendo este subdividido em diferentes manejos como: preparo convencional (PC), plantio direto (PD) e cultivo mínimo (CM).

O preparo convencional do solo consiste no revolvimento de camadas superficiais para reduzir a compactação, incorporar corretivos e fertilizantes, aumentar os espaços porosos, elevando-se assim a permeabilidade e o armazenamento de ar e água (SANTIAGO & ROSSETTO, 2007). Esse manejo consiste na utilização de práticas como aração, gradagem, subsolagem, escarificação e dentre outras atividades de revolvimento do solo. Silva et al. (2011) descreveu que o revolvimento do solo ocasiona benefícios como o controle de pragas e patógenos do mesmo, além de facilitar o crescimento e expansão das raízes das plantas.

No plantio direto, tem-se a semeadura direta sobre o solo coberto por palha, mínimo revolvimento de camadas mais superiores. Embora esse manejo tenha surgido a fim de reduzir os processos erosivos do solo, tende a proporcionar formação de camadas compactadas no solo (FONTANELA, 2008). Para Vieira (2006) a compactação do solo é caracterizada pela diminuição do volume de vazios, mais conhecidos como poros, ocupados pela água ou pelo ar. Do ponto de vista conservacionista, o plantio direto se tornou um grande avanço para a agricultura no Brasil, visto que os manuseios empregados anteriormente causavam demasiada erosão devido a exposição das camadas superficiais.

Para Panachuki et al. (2006) a degradação do solo é considerada um dos principais e mais importantes problemas ambientais da atualidade, onde se tem derivação de práticas de manejo do solo inadequadas. Segundo Figueiredo et al. (2009) os diferentes manejos

proporcionaram alterações nas propriedades físico-hídricas do solo, em comparação com áreas preservadas. Santos et al. (2015) em estudo avaliando as características físico-hídricas do solo em área de plantio direto (com 5 anos de implantação), preparo convencional e área sob mata nativa (testemunha), observaram também que o manejo do solo influencia nas suas características físico-hídricas.

2.3 Características físicas do solo

As propriedades físicas do solo são denominadas como a caracterização da composição física do mesmo, ou seja, consiste na avaliação dos teores, tanto em massa como em volume, dos componentes que são contidos em um determinado conjunto, e no cálculo de alguns parâmetros derivados. As análises quanto à caracterização da composição física de um solo podem ser realizados em amostras deformadas ou indeformadas, dependendo da finalidade que se deseja.

2.3.1 Umidade do solo

Almeida (2005) define a umidade do solo como sendo o teor de umidade de uma amostra de solo como a razão entre o peso da água contida em certo volume de solo e o peso da parte sólida existente nesse mesmo volume, expressa em porcentagem. De acordo com Reichardt (1985) a determinação da fração líquida ou simplesmente do teor de umidade do solo pode ser realizada de várias formas, dependendo da finalidade do estudo, e podendo esta ser: gravimétrica (expressa em porcentagem) ou volumétrica (expressa em unidade de massa). Barbosa (2014) avalia a importância da determinação das propriedades físicas dos solos para prever o comportamento destes perante a presença de umidade.

Nos solos de menor umidade, a resistência do solo à penetração e sua coesão, aumentam e a pressão hidrostática das raízes diminuem, com isso, há uma redução da força de penetração para romper a resistência do solo (HAMZA & ANDERSON, 2005), devido ao valor do teor de água que atua na coesão entre as partículas. Segundo Otto (2001) a determinação da umidade de um volume de solo é fundamental na agricultura, pois possibilita

a obtenção de informações sobre a necessidade ou não de aplicação ou retirada de água do solo.

De acordo com Cancian (2015) a umidade de um Latossolo Vermelho Distrófico típico, sendo realizadas próxima a capacidade de campo, após a ocorrência de uma precipitação de 50 mm, apresentou correlação negativa com o atributo resistência a penetração, de modo que os valores obtidos decrescem conforme aumenta-se a umidade.

2.3.2 Densidade do solo

Sua definição é descrita como a relação entre a quantidade de massa de solo seco por unidade de volume de solo, logo esse volume é compreendido como volume de sólidos e de poros do solo. Contudo, havendo modificação do espaço poroso haverá também a alteração da densidade do solo. Esta é representada como sendo a relação entre a massa de sólidos e o volume total que a massa ocupa, refletindo a disposição das partículas. Assim, fatores que influenciam sobre a ordenação das partículas do solo refletem diretamente nos valores dessa característica (REINERT & REICHERT 2006; PEDROTTI & MELLO JÚNIOR, 2009).

Tormena e Roloff (1996), cita o Intervalo Hídrico Ótimo (IHO) como um parâmetro físico do solo que incorpora os efeitos do conteúdo de água no solo sobre as variações do potencial mátrico, aeração e resistência mecânica do solo, tendo sua amplitude dependente da estrutura e da textura do solo. Fontanela (2008) avalia com a quantificação do IHO, o valor de densidade do solo em que o IHO é zero, denominado como densidade crítica do solo. Esse parâmetro, além da facilidade de obtenção, tem grande importância ao crescimento e desenvolvimento da planta sem diferentes manejos de solo. Com isto determinou que o aumento da densidade do solo influenciou na redução do intervalo hídrico ótimo (IHO) associada aos efeitos da resistência do solo à penetração e da porosidade de aeração que determinaram, respectivamente, o limite inferior e o superior de água disponível.

Conforme Silva et al. (2003) determinou-se o IHO utilizando os valores do conteúdo de água no limite inferior e no limite superior, monitorou-se a umidade do solo durante todo o ciclo do feijoeiro, em um Argissolo sob três sistemas de cultivo, os valores de densidade do solo onde o IHO é zero foram decrescentes com o teor de argila do solo e não foi influenciado pelos estados de compactação, o valor da densidade crítica ficou em torno de $1,80 \text{ mg m}^{-3}$, no Latossolo Vermelho Distrófico foi em torno de $1,43 \text{ mg m}^{-3}$ e no Latossolo Vermelho

Distroférico típico foi cerca de $1,40 \text{ mg m}^{-3}$. Para Reinert e Reichert (2006) os valores considerados normais para solos argilosos apresentam valores mais baixos, de 0,9 a $1,7 \text{ g/cm}^3$. Valores de densidade de solo associados ao estado de compactação com alta probabilidade de oferecer riscos ao crescimento radicular situam-se em torno de $1,45 \text{ g/cm}^3$ para solos argilosos.

Em relação aos tipos de manejo do solo Silva et al. (2005) determinam que a adoção do PD aumentou a resistência do solo a penetração em subsuperfície, em relação ao PC, os mesmos verificados no ciclo da ervilhaca (*Vicia sativa*) e milho (*Zea mays*), com N mineral (180 kg ha^{-1}), onde o PC consistiu em uma aração com arado de discos, seguida por duas gradagens e uma escarificação com profundidade de 15-20 cm.

Dependendo da prática utilizada e do tempo de adesão da mesma, este fato pode resultar no aumento da densidade do solo e, conseqüentemente na compactação do mesmo, o que representa um dos principais problemas físicos que limitam a produtividade das culturas (FONTANELA, 2008). Para Bertol et al. (2004), na camada de 0-10 cm, a densidade do solo é maior na semeadura direta do que no preparo convencional, enquanto, nas camadas subsuperficiais, esta variável apresenta valores maiores no preparo convencional do que na semeadura direta.

Camadas compactadas possuem alta resistência à penetração quando o solo está seco e deficiência de oxigênio quando úmido, ocasionada pela alta densidade do solo e pequena macro porosidade. Camadas compactadas provocam dificuldades na semeadura, emergência e maior probabilidade de presença de patógenos beneficiada pela maior umidade (SILVA, 2003).

2.3.3 Densidade de partículas

Seguindo a definição de Reinert e Reichert (2006), a densidade de partículas é expressa pela relação entre a quantidade de massa de solo seco por unidade de volume de sólido do solo, então, a porosidade do solo não é inclusa e sua variabilidade não depende do manejo do solo, e sim da composição química e mineralógica do mesmo. De acordo com Brady (1989), a natureza do mineral predominante determina a densidade de partículas e devido a isso, existe pouca ou até mesmo nenhuma diferença desta característica para uma mesma classe de solo. Tem grande relevância para algumas determinações como a porosidade

total do solo, velocidade de sedimentação de partículas em água, grau de saturação com água e dentre outros.

Em relação ao manejo do solo, Goedert et al. (2002) observaram que a densidade de partículas, em diferentes profundidades, registrados em duas áreas de lavoura do Distrito Federal submetidas ao plantio direto onde variaram em torno de $2,46 \text{ Kg dm}^{-3}$ a $2,5 \text{ Kg dm}^{-3}$ para um Latossolo Vermelho-Amarelo muito argiloso, já para a segunda área com solo classificado como Latossolo Vermelho-Escuro argiloso, obtiveram valores de densidade de partícula em torno de $2,86 \text{ Kg dm}^{-3}$ a $2,77 \text{ Kg dm}^{-3}$.

Segundo Carvalho et al. (1999), a densidade de partículas para um solo Podzólico Vermelho-Amarelo Câmbico fase terraço, sob o manejo de plantio direto foi em torno e torno de $2,85 \text{ Kg dm}^{-3}$ a $2,89 \text{ Kg dm}^{-3}$, conforme se decresce as camadas de solo. Visto isso, constata-se que não há modificação entre as DP (densidade de partículas) em relação aos diferentes regimes de manejo do solo.

Para Reinert e Reichert (2006), os componentes que predominam em solos minerais apresentam valores de DP em torno de $2,65 \text{ g cm}^{-3}$, exceção quando tem teor de matéria orgânica ou óxidos de Fe e Al altos. A matéria orgânica tem densidade específica de 0,9 a $1,3 \text{ g cm}^{-3}$ e sua presença reduz a DP, ao contrário da presença de óxidos que aumenta a DP.

Conforme Moraes (2013), estes elevados valores de densidade de partículas, estão relacionados à presença de altos teores de óxidos de ferro, os quais contribuem para que a média geral da densidade das partículas seja mais elevada do que os valores tradicionais.

2.3.4 Porosidade total do solo

Segundo Barbosa (2014), a estrutura do solo nos apresenta que parte do volume é ocupado por partículas sólidas, já o volume restante ao preenchido por partículas solidas é denominado de vazio, onde são ocupados por água e ar, o conjunto dos volumes é determinado como volume total. Devido a isso o solo constitui-se de 3 fases: partículas sólidas, água e ar. Já para Reinert e Reichert (2006), o espaço em que o solo não é ocupado por sólidos e preenchido pela água e ar, e compõem o espaço poroso, definido como a proporção entre o volume de poros e o volume total de um solo. É inversamente proporcional à D_s (densidade do solo) e de vital importância para o crescimento de raízes e movimento de ar, água e solutos no solo.

Para Lorenzo (2010), a porosidade total possui dois subgrupos, sendo eles: macroporos onde se movimentam a água e o ar, e resultam da disposição dos agregados, da ação de raízes e da expansão e contração da massa do solo, relacionando-se também com a infiltração, drenagem e transporte de solutos) e os microporos (relacionados com a retenção de água devido à adesão molecular), quanto maior a proporção de microporos em relação aos macroporos de um solo, menor é a infiltração de água e pior o arejamento.

A água é retida com mais força nos poros menores, já nos poros maiores, a própria gravidade retira a água. Assim, solos argilosos tendem a armazenar mais água que solos arenosos, embora a disponibilidade desta água para as plantas muitas vezes seja limitada (KONDO, 2008).

Para Bertol et al. (2001), a porosidade total variou apenas na profundidade 2,5-5,0 cm, entre os sistemas de manejo, PC executado com uma aração mais duas gradagens e PD onde foram cultivados milho e ervilhaca, permanecendo os resíduos de ambas as culturas na superfície do solo. Isso mostra que a porosidade total é menos influenciada do que a macro e microporosidade pelo sistema de manejo, já que ela depende do efeito mutuo entre as duas. Segundo Bertol et al. (2004), nas camadas subsuperficiais, a semeadura direta reduz o volume de macroporos em relação ao preparo convencional, refletindo-se na redução do volume total de poros e no aumento do volume de microporos.

Segundo Guimarães (2000), a média do volume total de poros para um Latossolo Vermelho Escuro de textura argilosa da região do cerrado é de aproximadamente $0,557 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ para o sistema plantio direto e de $0,591 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ para o preparo convencional, sendo assim, a porosidade total é afetada significativamente pelo diferente uso do manejo, principalmente na camada arável. Para Costa et al. (2003), que analisaram um Latossolo Bruno Alumínico Câmbico, a porosidade total (PT) do solo variou de 0,59 a $0,64 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, com os sistemas de manejo do solo apresentando valores semelhantes. A menor PT do solo sob o plantio convencional em relação ao plantio direto ocorre na camada de 10 a 20 cm e pode indicar presença de compactação subsuperficial no solo em PC.

Conforme Abreu et al. (2004), que analisaram um Argissolo Franco-arenoso, consistindo em quatro tratamentos: PD com soja; solo escarificado, à profundidade média de 0,25 m; cultivo mínimo de Crotalária, tendo semeadura seguida de uma gradagem leve; solo descoberto sem preparo, mantido sem vegetação e sem preparo. Dentre os tratamentos nenhum diferiu significativamente, possuindo uma variação de 0,37 a $0,40 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ para a PT. Possuindo também $0,39 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ para o sistema de plantio direto da soja nas camadas de 12 -

38 cm. Já Cruz et al. (2003), obtiveram para um Argissolo Vermelho aproximadamente $0,342 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, determinado sob a camada de 10 a 20 cm em um sistema de plantio direto.

A maior suscetibilidade do solo à compactação pelo tráfego de máquinas ocorre quando o solo está com 60 % dos poros preenchidos com água (SILVA et al., 2003b). De acordo com Bertol et al. (1998), os valores de porosidade total para o solo analisado sobressaíram-se nas camadas mais superficiais, isso devido ao pisoteio de animais, o que dá uma ideia de adensamento do solo, com conseqüente degradação da estrutura, fazendo com que haja reflexos negativos, especialmente na taxa de infiltração de água no solo. Conforme Moraes (2013), a porosidade total calculada, como já esperado, em função de ser uma relação da densidade do solo com a densidade de partículas, identificou as mesmas alterações na estrutura do solo observadas pela densidade do solo entre os modelos de produções baseados na rotação e sucessão de culturas.

2.3.5 Resistência do solo a penetração

Segundo EMBRAPA (2012), a resistência do solo à penetração (RP) é um dos principais indicadores do estado de compactação do solo, porém, é influenciado diretamente pela umidade. A dependência da RP em relação à umidade do solo pode conduzir a erros no diagnóstico do estado de compactação, podendo assim, sub ou superestima-lo. Porém para Kondo (2008) a compactação do solo pode ser benéfica, desde que esteja em níveis adequados, sendo que em excesso pode criar situações adversas como menor infiltração de água, maior erosão, menor crescimento de raízes. Solos indicados como satisfatórios ao crescimento de raízes tem como valores máximos de RP em torno de 2 MPA.

A campo a resistência do solo a penetração, além de estar diretamente ligada a compactação do solo, é uma ferramenta que auxilia na visualização de como as raízes das plantas irão romper a camada de solo. Silva et al. (2003) visualizaram no campo, principalmente em solos estruturados, as raízes procuram fendas, rachaduras e áreas de menor resistência para crescerem. Para Reinert e Reichert (2006) quando a resistência do solo é maior, as raízes crescem na direção de menor resistência e mudam sua distribuição, apresentando deformação do sistema radicular. Conforme Fontanela (2008), a resistência à penetração foi fortemente influenciada pela densidade do solo, em trabalho determinando o limite inferior do intervalo hídrico ótimo nos diferentes preparos e sistemas de manejo.

Segundo Tormena et al. (2002), com o aumento da umidade do solo em profundidade há, simultaneamente, a redução da RP. Apesar da semelhança dos valores de umidade entre PC e PD, a maior resistência em PD é consequência de uma maior compactação do solo, com maior densidade e menor volume de poros. Para Benedetti et al. (2010) a resistência do solo à penetração mostrou-se altamente relacionada com o teor de água e densidade do solo. As diferentes formas de manejo do solo promoveram alterações na resistência do solo à penetração. Como também relataram Magalhães et al. (2010) onde analisaram três áreas sob diferente uso e manejo do solo, sendo respectivamente, mata nativa, solo sob pastagem e uso extensivo de bovinos durante 10 anos e solo sob cultivo de cana-de-açúcar com colheita mecanizada. Havendo assim correlação negativa entre RP e porosidade, contudo, obteve-se correlação positiva entre RP e densidade do solo entre os ambientes estudados.

Conforme Tavares et al. (2001) as modificações estruturais proporcionadas pelos diferentes sistemas de manejo podem resultar em maior ou menor compactação, que poderá interferir na densidade do solo, na porosidade, na infiltração de água no solo e no desenvolvimento radicular das culturas. Para Souza e Alves (2003) as diferentes formas de uso e manejo do solo promoveram alterações no movimento da água no solo e na resistência do solo à penetração.

Segundo Assis et al. (2009) o tipo de solo mostra significativa influência nos resultados de resistência do solo a penetração, sendo assim, o solo mais argiloso obtém valores mais elevados para esse parâmetro do que solo com granulometria arenoso, já que solos arenosos possuem um volume de poros, capacidade de infiltração e escoamento superiores a solos com predominância de textura argilosa.

2.4 Tráfego de máquinas agrícolas

Conforme Fontanela (2008) a mecanização é a responsável pela deterioração acelerada das condições do solo, sendo que o tráfego excessivo, sem o controle das diversas condições do mesmo, é o principal responsável pela compactação ocasionada por forças mecânicas, tanto pelo exagerado número de operações como pelo simples tráfego do maquinário sobre o solo. Girardello et al. (2013) observaram que o sistema de tráfego controlado é uma alternativa moderna para minimizar a ocorrência de compactação do solo. Entre os principais

benefícios desta estratégia de manejo destacam-se a melhoria das propriedades físicas do solo, a redução das perdas de água e o incremento na produtividade das culturas.

2.4.1 Interação máquina/solo

Segundo a American Society of Agricultural Engineers (2003) a esquematização das forças atuantes sobre um pneu ao desenvolver tração e da reação correspondente do solo (reação da superfície), pode ser observada conforme figura 1. A força de tração bruta (GT) produzida, possui relação direta com a tração líquida (NT), que é a força paralela a direção de deslocamento desenvolvida pela tração e transferida para o trator, com a força de resistência ao rolamento (MR), que resiste ao movimento do dispositivo de tração e é responsável pelas perdas de energia não atribuídas ao deslizamento do rodado. Feitosa (2014) observou, que a força de tração bruta corresponde a força de tração que deve ser produzida pelo trator para possibilitar seu deslocamento e torná-lo capaz de tracionar as cargas.

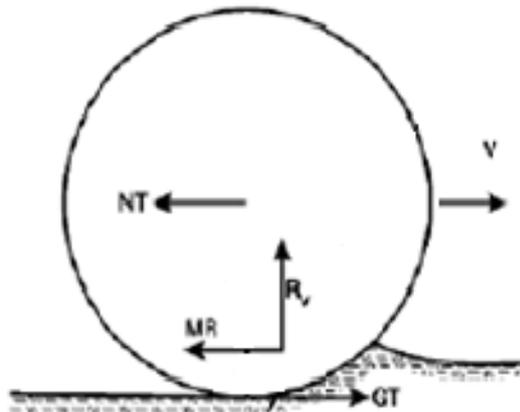


Figura 1 - Forças básicas em uma rodado e a força resultante da reação do solo.
Fonte: ASAE, 2003.

O nível de compactação imposto pelo tráfego de máquinas aumenta gradualmente à demanda de esforços horizontal, sendo que a estrutura desse solo não oferece efeito rotacional. (ROSA, 2009).

2.4.2 Influência do tráfego de máquinas nas propriedades físicas

Devido ao controle equivocado do tráfego de máquinas e implementos agrícolas que, em alguns casos, chegam a ter uma área anual de tráfego muitas vezes maior que a área total de campo. Tudo isso gera alterações nas propriedades do solo (ROSA, 2009).

O tráfego de máquinas e implementos agrícolas durante as diversas etapas da produção, aumenta a densidade do solo e reduz sua porosidade total que, por sua vez, exercerá influência na capacidade de retenção de água, aeração, drenagem e condutividade hidráulica, afetando assim, a produtividade das culturas. A compressão dos solos agrícolas, decorrente das operações mecanizadas, afeta os atributos físicos do solo, provocando aumento na densidade e na resistência à penetração, diminuição da porosidade total e da continuidade dos poros (BONFIM-SILVA et al. 2010; FONTANELA, 2008).

Para Silva et al. (2005) a compactação gerada pelo tráfego constante de máquinas não afetou o crescimento radicular das cultivares. De acordo com Silva et al. (2003b), estudando a influência do rodado traseiro e da soleira de implementos agrícolas, usualmente utilizados na região dos Cerrados, sobre a compressibilidade de um Latossolo Vermelho distrófico típico, concluíram que a intensidade de tráfego do rodado e a ação da soleira dos implementos alteraram a compressibilidade, a densidade do solo, a porosidade e a condutividade hidráulica do solo saturado nas profundidades de trabalho dos implementos. Segundo Mentges (2010) o estudo objetivou identificar a influência do uso do solo com cultivo de arroz irrigado nas propriedades físico-hídricas e mecânicas, quando comparado ao solo mantido sem uso agrícola, sendo assim, visualizou-se que o uso agrícola afetou a qualidade física do solo classificado como Gleissolo Háptico, elevando os valores de densidade e reduzindo os valores de porosidade total, quando comparado a testemunha. Porém o uso agrícola não afetou a disponibilidade de água do solo analisado.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.2 Local, época e condução do experimento

O experimento foi conduzido na área experimental do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Farroupilha - Campus Alegrete. O local apresenta coordenadas geográficas de 29°42'31.11" latitude sul e 55°31'34.76" longitude oeste, com aproximadamente 123 metros de altitude.

O clima é classificado conforme Köppen-Geiger como Cfa (clima subtropical úmido, de verões quentes). Tendo precipitação média de 124,35 mm mensalmente, possui assim um total de aproximadamente 1492,2 mm acumuladas ao ano, com chuvas bem distribuídas e estações bem definidas, possui também uma alta variação de temperaturas, cerca de 11,5 °C entre temperatura média máxima e mínima, e umidade relativa do ar próximo aos 76,4% (INMET, 2017).

Realizou-se o experimento no segundo semestre do ano de 2017, em uma área correspondente a 240 m². O solo contido na área é classificado como Argissolo Vermelho Distrófico arênico, unidade de mapeamento São Pedro (STRECK et al. 2008). Para textura do solo Conceição (2014) definiu porcentagens médias de: 9,66 areia grossa; 65,75 areia fina; 21,95 textura média (silte); 2,61 de argila.

O experimento foi tri fatorial no delineamento experimental de blocos ao acaso, composto por dois blocos (bloco um PC e bloco dois PD), sendo assim, em cada manejo analisou-se a ausência e presença de tráfego sob o solo, com isto, se realizou uma amostragem inicial para determinar as propriedades sem que haja o tráfego de máquinas (Figura 2).

Cada bloco foi subdividido em faixas, correspondendo às diferentes intensidades de tráfego, sendo estas definidas de acordo com as operações necessárias para inserção de culturas na área, correspondendo a semeadura, tratos culturais (no mínimo dois) e colheita, totalizando quatro faixas de passagens de máquinas para os diferentes manejos, contudo, para o PC é acrescentado o preparo da área, onde realizou-se operações como: subsolagem e gradagem, este procedimento ocorreu quinze dias antes da amostragem do solo.

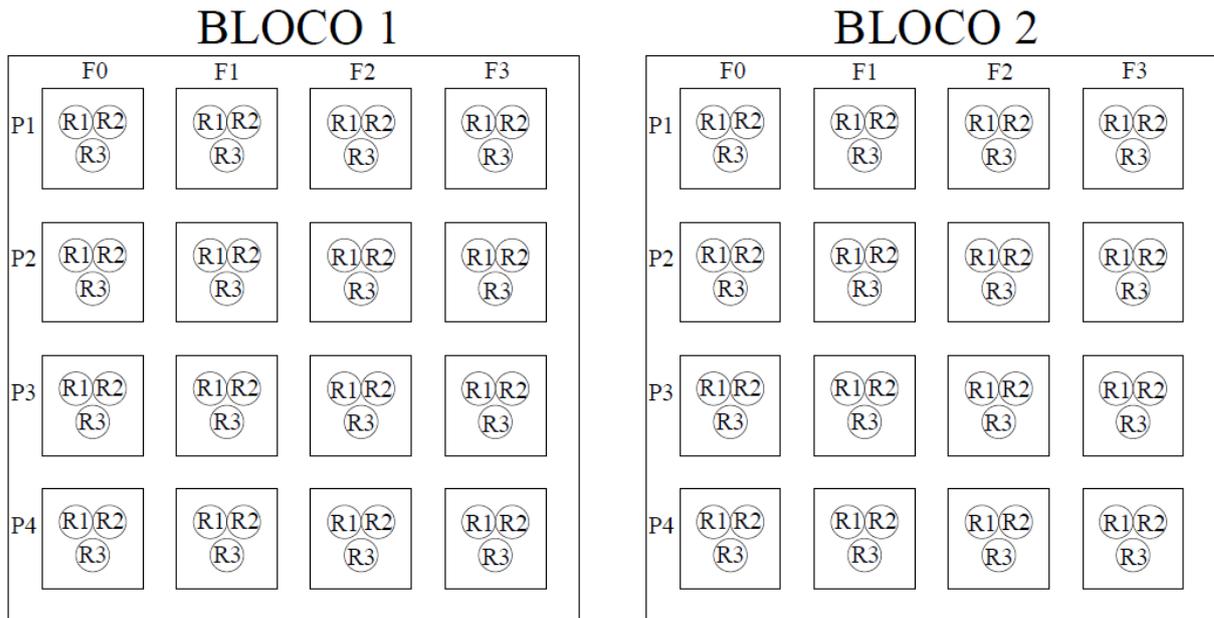


Figura 2 - Croqui do experimento, sendo: F0: sem passagem; F1: uma passagem; F2: duas passagens; F3: três passagens; P1: profundidade um (0 - 10cm); P2: profundidade dois (10 - 20cm); P3: profundidade três (20 - 30cm); P4: profundidade quarto (30 - 40cm).

Fonte: Autor, 2017.

A amostragem de solo, para as determinações das características físicas do mesmo, foi efetuada após cada tráfego da máquina sobre as faixas em um mesmo período.

Para realização das passagens sobre as faixas, utilizou-se um trator Massey Ferguson, modelo MF 7150 com potência de 150 Cv, possuindo bitola traseira de aproximadamente 1,95m, composto por pneus 24.5-32R1/18.4-26R1.

Para cada propriedade foi analisado amostras em dois pontos distintos dentro de cada faixa, compostos por três repetições.

3.3 Determinação das características físicas do solo

A determinação das características físicas do solo seguiu a metodologia empregada no manual de métodos de análise do solo EMBRAPA (1997). Os ensaios foram realizados no Laboratório de Solos do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Farroupilha, Campus Alegrete.

3.3.1 Umidade gravimétrica, umidade volumétrica e densidade do solo

Para estas determinações, empregou-se o método dos anéis volumétricos, que consistiu na retirada de três amostras indeformadas (Figura 3), de quatro diferentes profundidades, sendo elas: 0-10, 10-20, 20-30, 30-40 cm. As amostras acondicionadas nos anéis com massa conhecida, foram vedados e conduzidos ao laboratório de solos para aferição da massa úmida contida nos mesmos (Figura 3), e posteriormente submetidos a secagem em estufa a 105°C por aproximadamente 24 horas.



Figura 3 - Procedimentos para coleta de amostra e pesagem das mesmas.
Fonte: O autor.

Obteve-se a umidade gravimétrica através da Equação 1:

$$Ug = \frac{(MU-MS)}{MS} \times 100 \quad (1)$$

Onde:

Ug - Umidade gravimétrica (%);

MU - Massa de solo úmido (g);

MS - Massa de solo seco (g).

A determinação da densidade do solo é dada pela Equação 2:

$$D_s = \frac{MS}{Volume} \quad (2)$$

Onde:

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

MS - Massa da amostra seca a 105°C (g);

Volume - Volume do anel ou cilindro (cm^3).

Através dos dados de umidade gravimétrica e densidade do solo, determinou-se a umidade volumétrica do mesmo, conforme Equação 3:

$$U_v = U_g \times D_s \quad (3)$$

Onde:

U_v - Umidade volumétrica (%).

U_g - Umidade gravimétrica (%);

D_s - Densidade do solo (g/cm^3).

3.3.2 Densidade de partículas

A densidade de partículas foi determinada através do método do balão volumétrico modificado, que consistiu na retirada de uma amostra de solo deformada, com auxílio do trado calador. O solo foi previamente seco em estufa a 105°C por aproximadamente 24 horas. Utilizou-se três repetições para cada profundidade da camada do solo. São transferidos 20 g de solo fino para um balão volumétrico de 50 ml previamente aferido de massa conhecida, e adiciona-se álcool etílico de densidade já determinada, com o auxílio de uma bureta, até a marca de 50 ml, definida no balão volumétrico. Logo após é aferido a massa do balão volumétrico contendo solo e o álcool, e então calculou-se a densidade de partícula do solo através da Equação 4 (Figura 4).

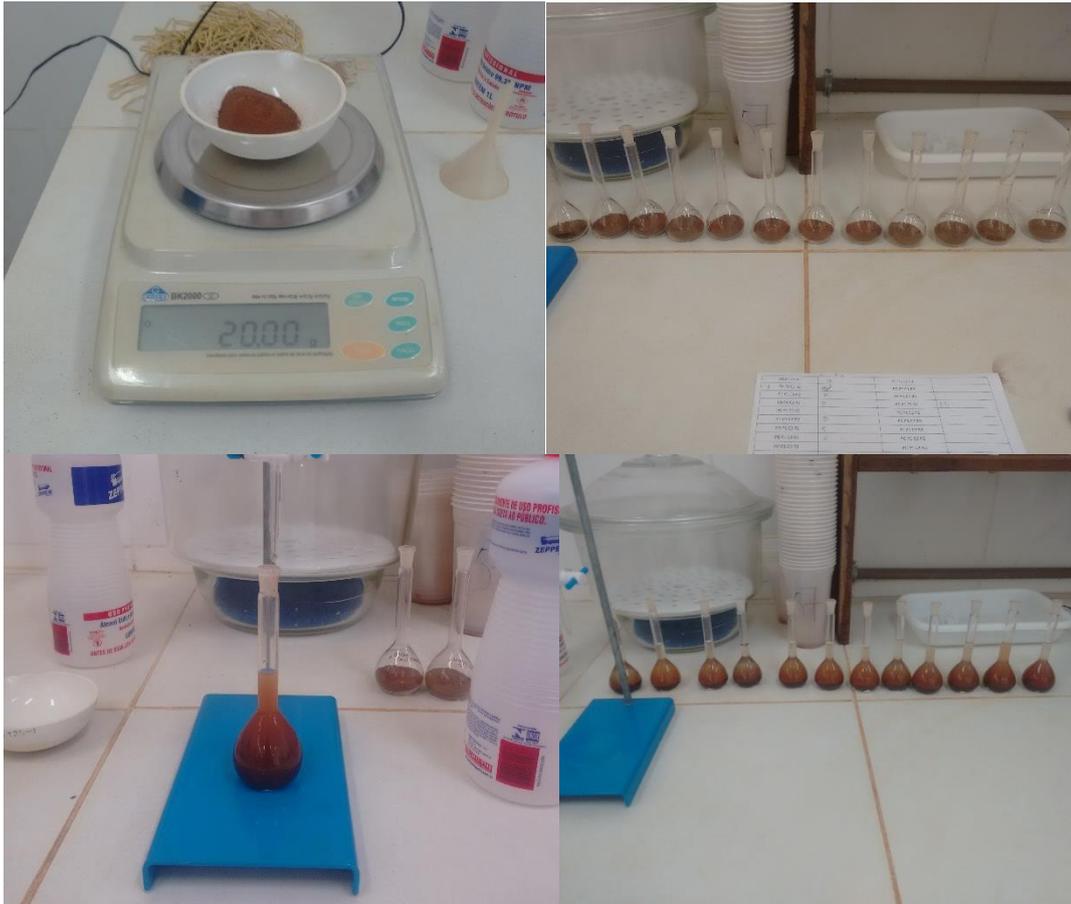


Figura 4 - Procedimentos para determinação da densidade de partículas do solo.
Fonte: O autor.

$$Dp = \frac{MS}{50 - \frac{MA}{DA}} \quad (4)$$

Onde:

Dp - Densidade de partículas (g cm^{-3})

MS - É a massa da amostra seca (g);

MA - Massa do álcool (g);

DA - Densidade do álcool (g cm^{-3}).

3.3.3 Porosidade total do solo

A determinação da porosidade total foi realizada através dos dados de densidade do solo e densidade de partículas, obtidos anteriormente, através da Equação 5:

$$PT = 1 - \left(\frac{Ds}{Dp} \right) \quad (5)$$

Onde:

PT - Porosidade total;

Ds - Densidade do solo (g/cm³);

Dp - Densidade de partículas do solo (g/cm³).

3.3.4 Resistência do solo a penetração

Para a determinação da resistência do solo a penetração utilizou-se um penetrômetro eletrônico, modelo FALKER PenetroLOG - PLG 1020. Foram avaliados 26 pontos para cada manejo empregado no solo, podendo assim, elaborar um gráfico dos valores médios por área, correlacionando a profundidade com a resistência do solo a penetração (KPa). O penetrômetro foi formatado para efetuar leituras em um intervalo de profundidade compreendido em 10 mm. Os dados do penetrômetro foram extraídos e analisados a uma profundidade máxima de 40 cm. O gráfico representativo de resistência à penetração foi obtido através do Software PenetroLOG.

3.4 Análise estatística

Para a interpretação dos resultados foi realizada análise de variância usando-se Testes de Tukey ao nível de 5% e 1% de probabilidade de erro para interpretação do nível de significância, com o auxílio do pacote estatístico Assistat. Para os tratamentos que apresentaram diferença estatística significativa, foi realizada interações entre os fatores e com isto construídos os gráficos através do software Sigma Plot 13.0.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Umidade gravimétrica

Com os dados analisados obtém-se a seguinte análise de variância (APÊNDICE A), onde verifica-se que as médias obtidas para a propriedade divergem significativamente entre os manejos empregados (PC, PD), resultados também verificados por Tormena et al. (2002) onde verificaram que a umidade distinguia nos diferentes manejos nas camadas mais superficiais. Bem como diferiu nos diferentes níveis de tráfego e distintas profundidades. Para as interações dos fatores (APÊNDICE B), verificou-se que apenas os fatores de manejo do solo em relação a profundidade não se diferenciaram significativamente.

A relação da umidade gravimétrica sob diferentes níveis de tráfego em diferentes manejos de solo (Figura 5). Onde a umidade gravimétrica, para o manejo de plantio convencional, possui uma tendência a redução quando elevou-se a frequência do número de passagens do trator sobre o solo. Contudo, para o manejo de plantio direto essa tendência se torna distinta, onde na faixa de tráfego inicial observou-se um decréscimo, porém, na faixa de tráfego 2 houve um aumento com relação as intensidades anteriores, retornando na faixa 3 a tendência inicial.

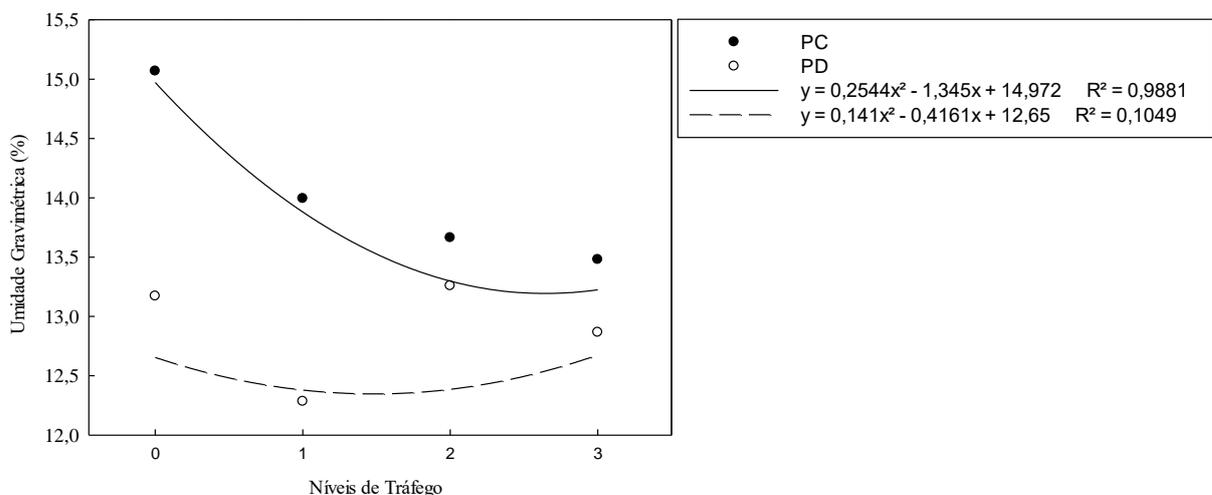


Figura 5 - Umidade gravimétrica (%) para diferentes níveis de tráfego (F0 - sem tráfego; F1 - uma passagem; F2 - duas passagens; F3 - três passagens) e manejos de solo.

Fonte: O autor.

Na Figura 6 pode-se observar o comportamento da umidade em relação as profundidades e intensidades de tráfego na área analisada, tendo assim, uma elevação na umidade em profundidade como também essa tendência de elevação se aplica a todas as faixas de trafegabilidade. Observa-se também que valores superiores são encontrados nas camadas mais profundas de 30 a 40cm. Visualizados também por Tormena et al. (2002), que identificou, em diferentes manejos do solo, que as umidades em camadas mais profundas apresentaram um índice mais elevado, o que também constatou Cancian (2015), que em camadas mais profundas notou-se uma elevação no valor dessa característica, onde apresentou uma umidade entre 0,25 e 0,3 kg kg⁻¹ nas camadas de 31 - 40cm.

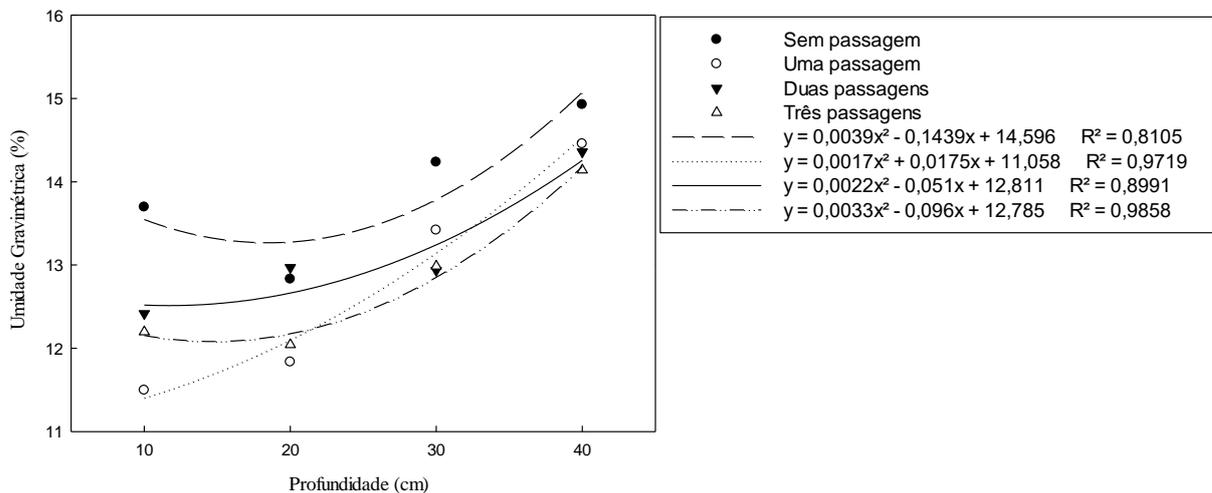


Figura 6 - Umidade gravimétrica (%) para diferentes níveis de tráfego e profundidades (P1 - 30cm; P2 - 20cm; P3 - 30cm; P4 - 40cm).

Fonte: O autor.

4.2 Umidade volumétrica

Conforme análise de variância (APÊNDICE A) para a propriedade, obtém-se diferença com relação aos manejos, faixas de tráfego e profundidades do solo, onde possui assim significância no estudo. Já as interações deram significância para a correlação entre os fatores de manejo do solo e faixas de trafegabilidade (APÊNDICE B).

Segundo a Figura 7, onde verificou-se as médias de umidade volumétrica em relação aos níveis de tráfego e diferentes manejos podemos destacar que no plantio convencional o fator decresce conforme a intensidade de circulação do trator aumenta. Streck et al. (2004), onde os valores maiores são detectados nas camadas iniciais, e conforme aumentou o número de passagens da máquina a umidade volumétrica sofre um leve aumento, porém ela estando intimamente relacionada com o grau de compactação.

No plantio direto, entretanto, houve um crescimento deste fator em relação ao aumento do trânsito na área na faixa de tráfego dois, voltando a reduzir na faixa seguinte.

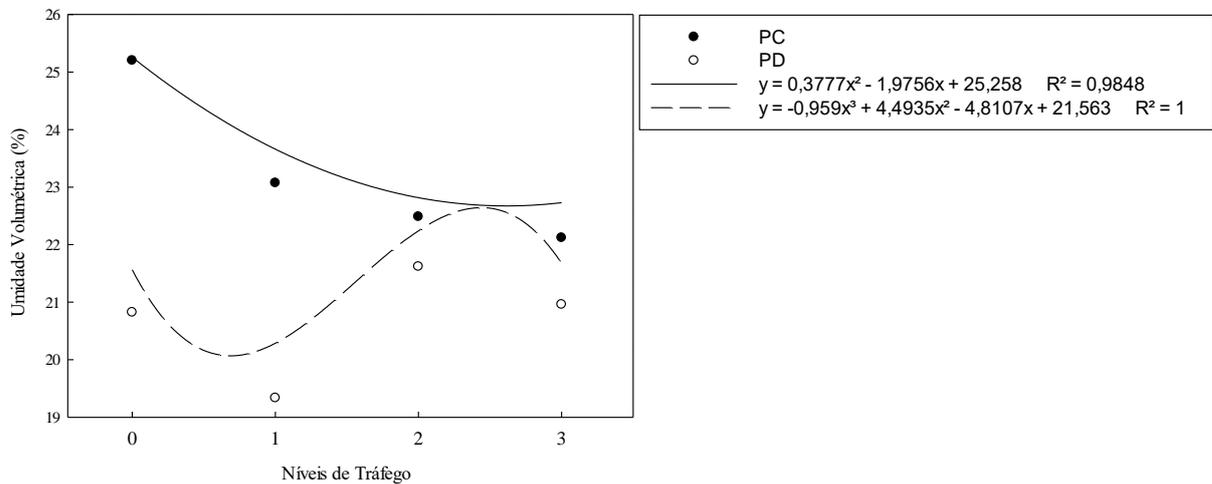


Figura 7 - Umidade volumétrica (%) para diferentes níveis de tráfego (F0 - sem tráfego; F1 - uma passagem; F2 - duas passagens; F3 - três passagens) e manejos de solo.
Fonte: O autor.

4.3 Densidade do solo

Com base na análise de variância (APÊNDICE A) a propriedade diferencia-se em relação aos manejos ao nível de 1% de probabilidade, já em relação as faixas de tráfego e profundidades do solo diferiu ao nível de 5% de probabilidade, sendo assim, há significância entre os dados analisados, igualmente Silva (2003) determinou uma densidade do solo para um Argissolo Vermelho Amarelo em diferentes manejos do solo empregado (PD, PC e Preparo reduzido) e verificou divergências em seus valores determinados a uma camada de 5 cm. Em referência as interações (APÊNDICE B), possuem significância para a correlação

entre os fatores de manejos do solo em função da profundidade a um nível de 5% de probabilidade, como também possuiu significância ao nível de 1% de probabilidade, para a correlação entre os níveis de tráfego e profundidades.

Na Figura 8, pode-se destacar que em ambos os sistemas de plantio a densidade do solo reduz conforme a profundidade aumenta, isso se deve ao fato de a pressão do trator se dissipa, em sua maioria, nas camadas iniciais.

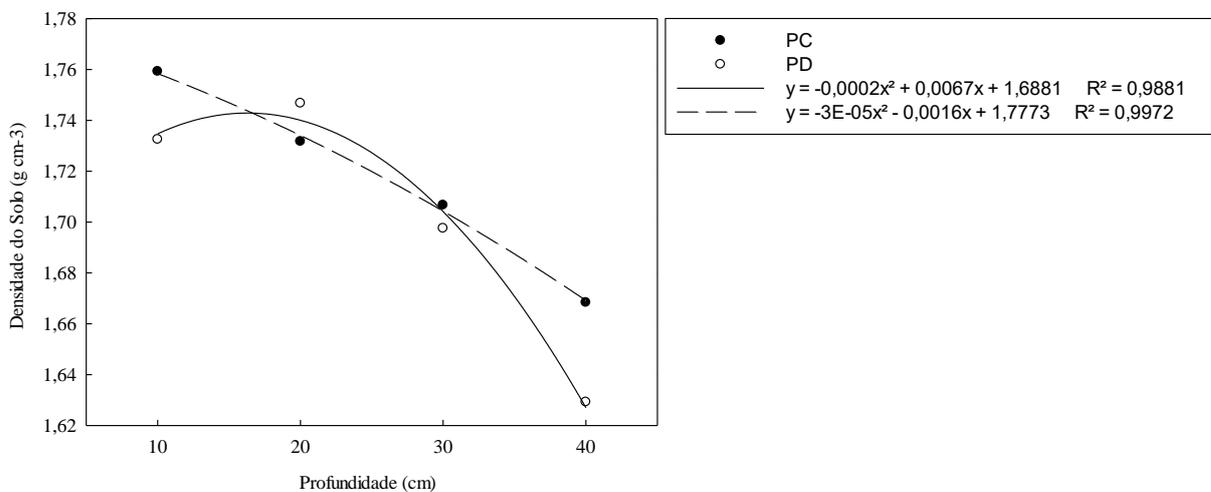


Figura 8 - Densidade do solo (g cm^{-3}) para diferentes profundidades com relação aos diferentes manejos de solo.

Fonte: O autor.

A Figura 9 apresenta os valores de densidade do solo (g cm^{-3}) média em função a intensidade de tráfego na área analisada, onde apresenta inclinação a decrescer enquanto a profundidade eleva-se nas faixas de uma, duas e três passagens, contudo, é inversamente proporcional a área que não ocorre tráfego. Conforme Streck et al. (2004) a densidade do solo para um Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico arênico sob diferentes intensidades de tráfego em função de diferentes profundidades apresentaram semelhança ao apresentado, em relação a tendência que conforme a intensidade do tráfego de máquinas sobre o solo aumenta a sua densidade de solo nas camadas iniciais, porém não influenciando em camadas mais profundas

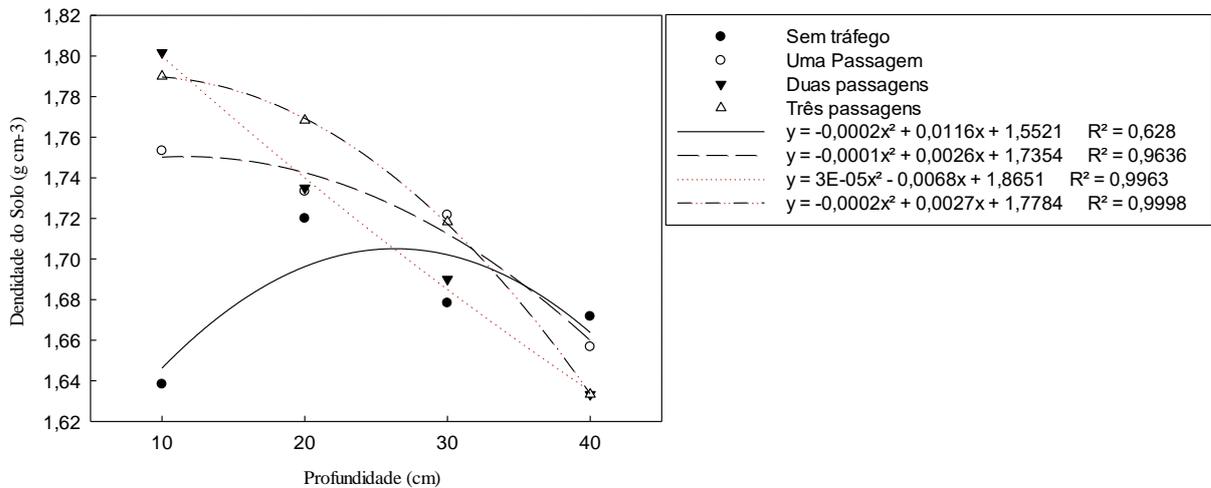


Figura 9 - Densidade do solo (g cm^{-3}) para diferentes níveis de tráfego e profundidades (P1 - 30cm; P2 - 20cm; P3 - 30cm; P4 - 40cm).

Fonte: O autor.

4.4 Densidade de partículas

Após determinada e analisada a densidade de partícula (APÊNDICE A), observou-se que apenas há divergência significativa entre as diferentes intensidades de tráfego a um nível de 1% de probabilidade, ou seja, variam quando analisados pontos separadamente, podendo assim haver texturas mais argilosas e/ou arenosas. Sendo essa propriedade ligada a textura do solo não difere quando se analisa em profundidade e nem em diferentes manejos. Apresentou valores de maior densidade de partículas na faixa onde há três passagens. Com relação a interação dos fatores (APÊNDICE B) foi significativa ao nível de 5 % de probabilidade para os diferentes níveis de tráfego em função das profundidades, já para as outras interações deferiram a 1 % de probabilidade.

Conforme Figura 10, a densidade de partículas varia significativamente nos diferentes manejos em função das faixas de tráfego, porém, como citado anteriormente, o valor desta propriedade está ligado a textura do volume de solo analisado. Apresentando maior valor de DP, respectivamente $2,58 \text{ g cm}^{-3}$, na faixa onde há três passagens com o trator sendo esses valores próximos ao determinado por Araujo et al. (2004) que verificou a DP para um Argissolo Amarelo Distrófico gira em torno de $2,53$ a $2,63 \text{ kg dm}^{-3}$.

A DP com relação aos diferentes sistemas de plantio em função de diferentes profundidades (Figura 11), onde nota-se que a mesma não possui correlação devido a sua

determinação estar mais relacionada com a textura e mineralogia. A composição química e estrutura cristalina de um mineral determinam sua densidade de partículas. A densidade de partículas não é afetada pelo espaço poroso, e conseqüentemente não está relacionada ao tamanho de partículas ou ao arranjo das partículas (Brady & Weil, 2009).

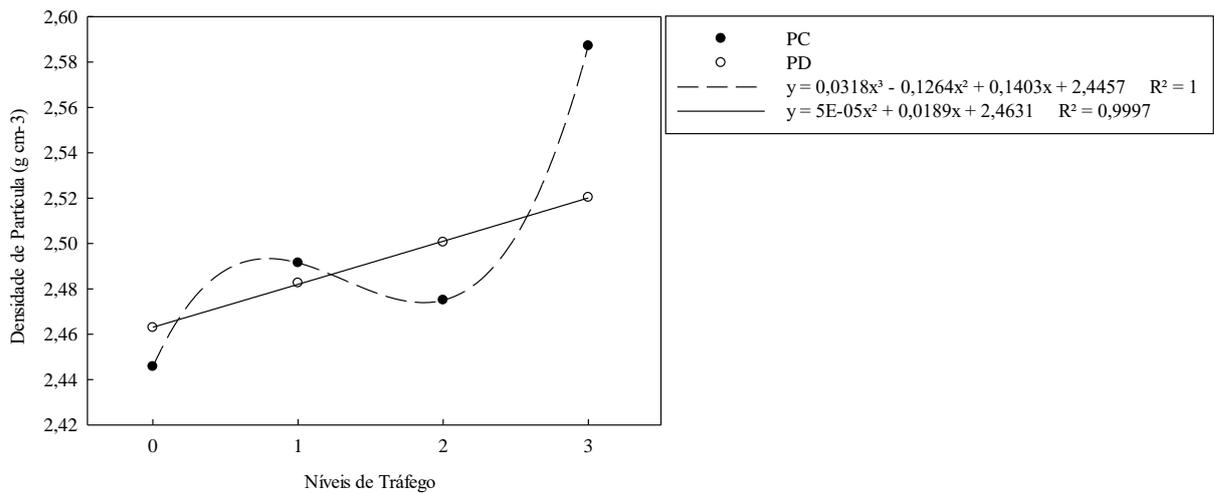


Figura 10 - Densidade de partículas (g cm^{-3}) para diferentes níveis de tráfego (F0 - sem tráfego; F1 - uma passagem; F2 - duas passagens; F3 - três passagens).

Fonte: O autor.

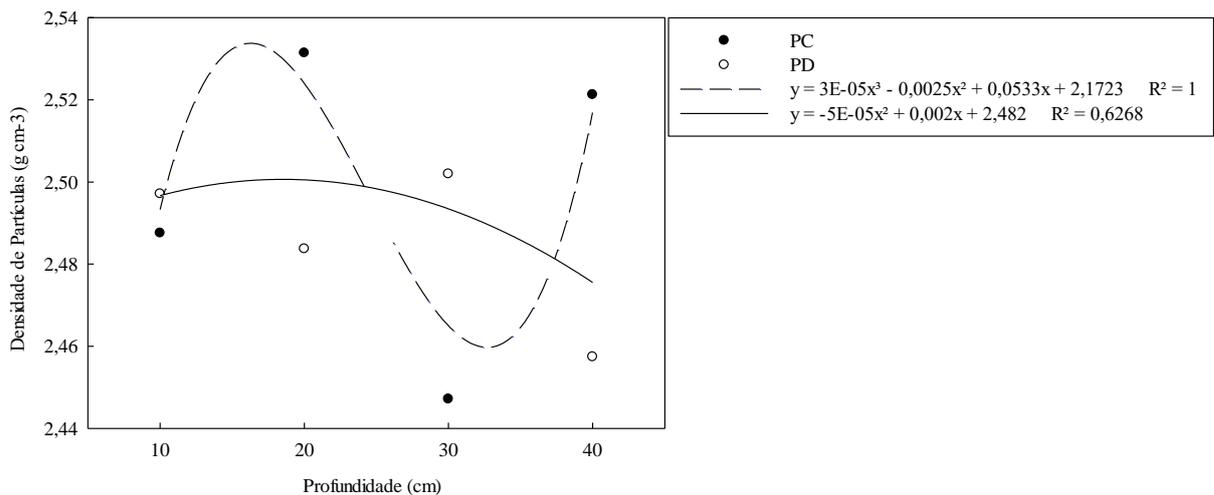


Figura 11 - Densidade de partículas (g cm^{-3}) para diferentes profundidades (P1 - 10cm; P2 - 20cm; P3 - 30cm; P4 - 40cm) em função dos diferentes manejos analisados.

Fonte: O autor.

4.5 Porosidade total do solo

Segundo a análise de variância (APÊNDICE A) para a característica apresenta-se significância para os tratamentos de manejo do solo, a um nível de 5% de probabilidade, onde obteve-se médias mais elevadas no PC, como também apontou divergência dos valores de PT para diferentes profundidades ao nível de 1% de probabilidade, onde encontramos amplitude de dados na profundidade 40cm ao valor de 0,33. Isto se deve ao fato de essa propriedade estar em função da densidade do solo e densidade de partículas. Já para Carneiro et al. (2009) a PT não foi influenciada pelos sistemas de uso e manejo do solo ($p > 0,05$), entretanto, houve tendência de maior PT nas áreas em PD, e menor PC. Já para as interações, foram significativas ao nível de 1% de probabilidade para os fatores de sistemas de plantio em função das intensidades de tráfego, como também divergiu nos diferentes níveis de tráfego com relação as profundidades.

A Figura 12 representa a PT dos diferentes manejos (PC, PD) em função das diferentes passagens do trator no solo, onde constata-se que no plantio direto a um pequeno decréscimo conforme a frequência de tráfego aumenta.

Para o plantio convencional, seguindo uma linha de tendência polinomial, as faixas de tráfego iniciais sofrem decréscimo, todavia, na intensidade de tráfego três, onde há três passagens com o trator sobre o solo, a um aumento com relação as porosidades analisadas.

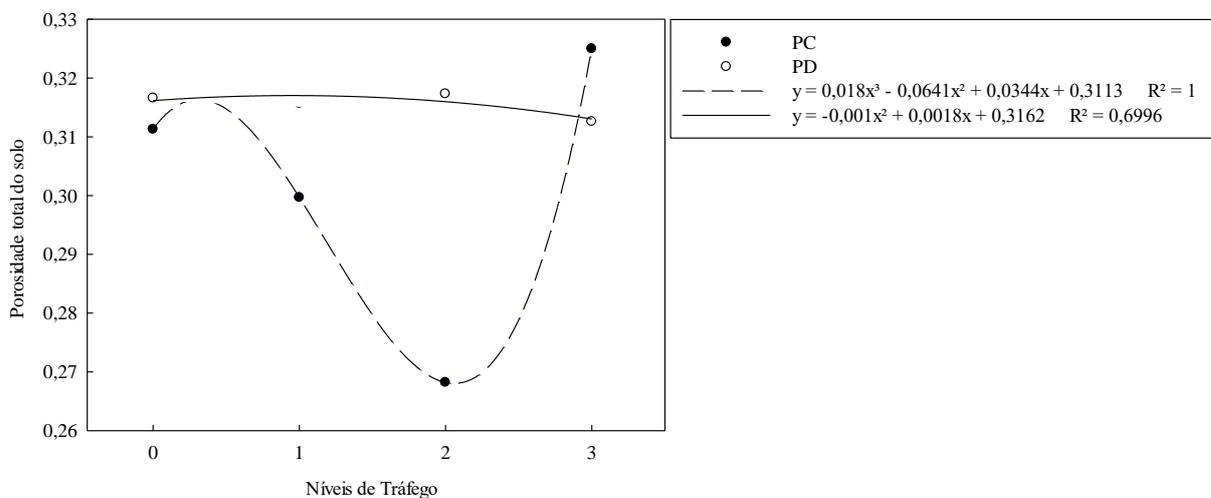


Figura 12 - Porosidade total do solo para diferentes níveis de tráfego (F0 - sem tráfego; F1 - uma passagem; F2 - duas passagens; F3 - três passagens).

Fonte: O autor.

Visualiza-se na Figura 13, a porosidade total do solo apresenta um incremento em conforme a profundidade se eleva, isso deve-se ao fato de, em profundidades mais elevadas, a densidade do solo ser menor, o que acarreta no aumento desse parâmetro. Para Streck et al. (2004) & Hillel (1998) os valores de PT em um Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico arênico apresentaram uma elevação conforme a profundidade aumenta e o tráfego de máquinas se torna mais intenso, ou seja, em camadas mais profundas o solo apresentou níveis de PT mais elevados devido ao baixo valor encontrado.

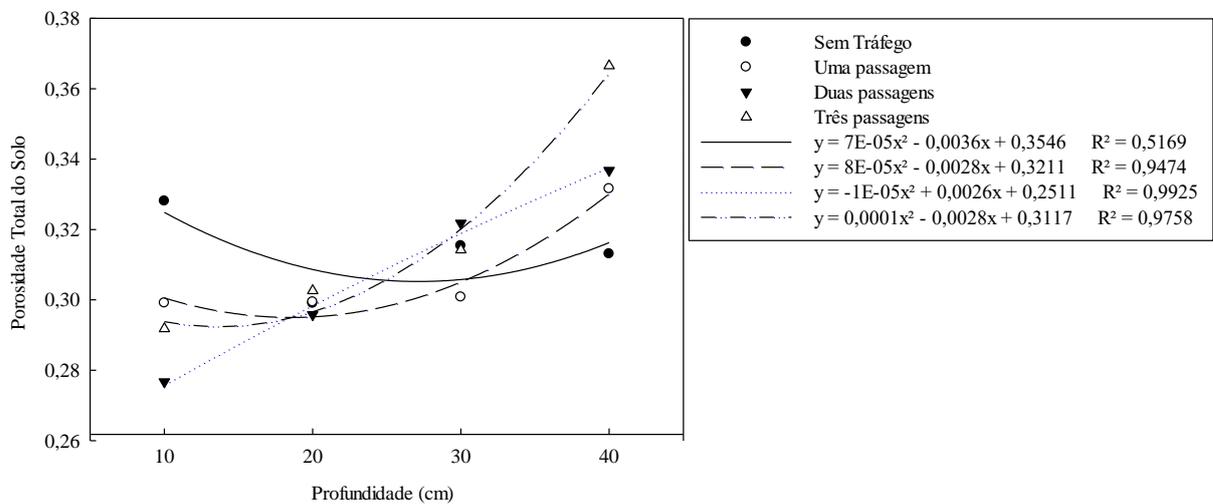


Figura 13 - Porosidade total do solo para diferentes níveis de tráfego e profundidades (P1 - 30cm; P2 - 20cm; P3 - 30cm; P4 - 40cm).

Fonte: O autor.

4.6 Resistência do solo a penetração

De acordo com a análise de variância (APÊNDICE A), verifica-se que para resistência do solo a penetração os fatores apresentaram diferença, ou seja, para os diferentes manejos de solo e profundidades houve uma significância ao nível de 1% de probabilidade, já para intensidades de tráfego o nível de significância foi de 5% de probabilidade, porém a condição não diferiu em relação a faixa onde a três passagens. Pode-se observar que os dados obtidos estão dentro da faixa crítica avaliada por Taylor et al. (1966) onde considera-se de 2,0 a 2,5 MPa a faixa crítica de resistência do solo com redução importante no crescimento radicular. A

interação dos dados (APÊNDICE B) foi significativa ao nível de 1 % de probabilidade na condição de manejo do solo em função das profundidades

A condição de RP nos dois sistemas (Figura 14), onde a tendência é que, conforme a profundidade de análise aumenta, os valores apresentem uma elevação visto que a pressão exercida pela máquina sob o solo seja dissipada nas camadas mais profundas, apresentando assim nos diferentes manejos do solo uma camada mais adensada na profundidade de 20 a 30 cm em ambos os manejos de solo. Igualmente Tormena et al. (2002) verificou que os valores de resistência do solo à penetração no PD comparado ao PC são mais elevados. Já para Streck et al. (2004) o valor máximo de resistência à penetração para todos os tratamentos ocorreu na faixa dos 6 aos 14cm de profundidade.

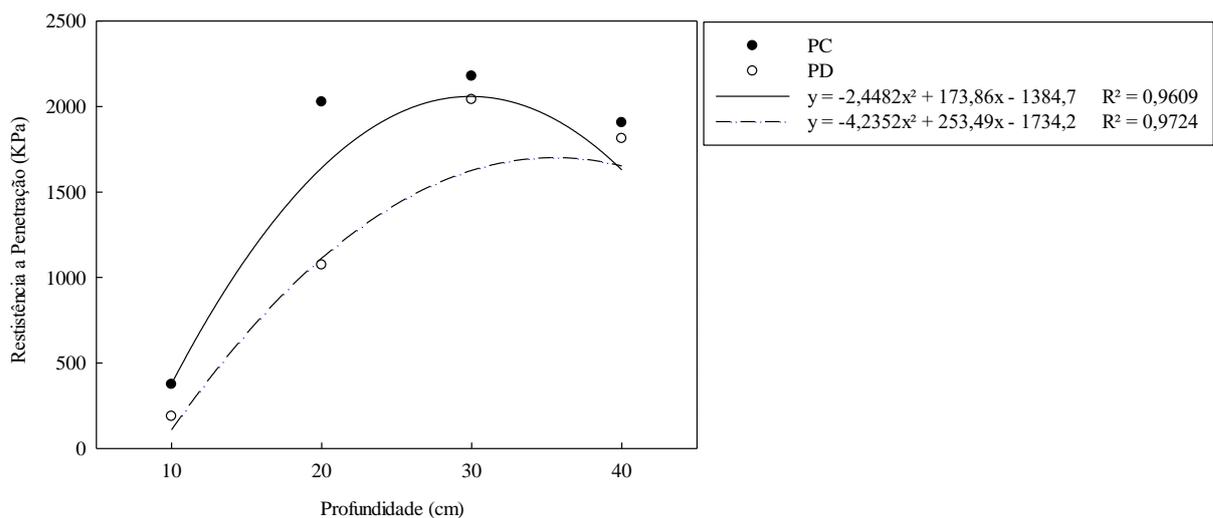


Figura 14 - Resistência do solo a penetração (KPa) para diferentes manejos do solo em função de diferentes profundidades (P1 - 30cm; P2 - 20cm; P3 - 30cm; P4 - 40cm).

Fonte: O autor.

5 CONCLUSÃO

Analisado os dados verificou-se que algumas propriedades físicas respondem de forma distinta ao tráfego de máquinas agrícolas, conforme intensifica-se as passagens algumas propriedades responderam de forma significativa e, portanto, houve modificações, porém outros fatores não se modificam. Respondem também, de forma positiva, aos manejos do solo e profundidades de análises.

A umidade gravimétrica, volumétrica, densidade de solo, partículas e porosidade total do solo correlacionou-se positivamente, em sua maioria, de forma que conforme o tráfego de máquinas sobre o solo se eleva esta apresenta uma redução da mesma, contudo a resistência do solo a penetração apresentou divergências em seus valores, apresentando na faixa com duas passagens o valor de maior amplitude.

A umidade gravimétrica, volumétrica e porosidade total do solo em relação a profundidade, aumenta conforme a profundidade aumenta, contudo, a densidade do solo é inversamente proporcional a isso, onde com o aumento da profundidade seu valor reduz, diferentemente dos dois casos a resistência do solo a penetração apresentou picos de resistência nas camadas iniciais (10 - 20cm e 20 - 30cm). Já a densidade de partículas nas modificou com relação a profundidade.

No manejo do solo apenas a densidade de partículas não apresentou discordância dentre os sistemas de plantio, as características restantes apresentaram variações nos dois manejos empregados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, S. L.; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J. Escarificação mecânica e biológica para a redução da compactação em Argissolo franco-arenoso sob plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 28, n. 3, p. 519-531, 2004.

ALMEIDA, G. C. P. Caracterização física e classificação dos solos. Universidade Federal de Juiz de Fora, 2005. 145 f. Apostila.

AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS. General Terminology for Traction of Agricultural Traction and Transport Devices and Vehicles: ASAE S296.5. ASAE Standard. St. Joseph, Michigan, 2003.

ARAÚJO, E.A.; LANI, J.L.; AMARAL, E.F.; GUERRA, A. Uso da terra e propriedades físicas e químicas de Argissolo Amarelo distrófico na Amazônia Ocidental. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 28, n. 2, 2004

ASSIS, R. D.; LAZARINI, G. D.; LANÇAS, K. P.; CARGNELUTTI FILHO, A. Avaliação da resistência do solo à penetração em diferentes solos com a variação do teor de água. *Engenharia Agrícola*, p. 558-568, 2009.

BARBOSA, M. C. Utilização do permeâmetro Guelph no antigo depósito de resíduos de Rolândia-PR. 2014. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

BENEDETTI, M. M.; DUARTE, I. N.; MELO JÚNIOR, H. B.; BORGES, E. N. Resistência do solo à penetração em um latossolo vermelho distrófico típico sob diferentes usos. *Enciclopédia Biosfera*. Centro Científico Conhecer, Goiânia, v.6, N.11; 2010.

BERTOL, I.; ALBUQUERQUE, J. A.; LEITE, D.; AMARAL, A. J.; ZOLDAN JUNIOR, W. A. Propriedades físicas do solo sob preparo convencional e semeadura direta em rotação e sucessão de culturas, comparadas às do campo nativo. *SEÇÃO VI-MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA*. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 28, n. 1, 28:155-163, 2004.

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

BERTOL, I.; GOMES, K. E.; DENARDIN, R. B. N.; MACHADO, L. A. Z. Propriedades físicas do solo relacionadas a diferentes níveis de oferta de forragem numa pastagem natural. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 33, n. 5, p. 779-786, 1998.

BONFIM-SILVA, E. M.; SILVA, T.J.A.; KAZAMA, E. H. Densidade do solo e água disponível em sistemas de manejo de recuperação de pastagem. *Enciclopédia Biosfera*. Centro Científico Conhecer, Goiânia, v. 6, n. 11, 2010.

BRADY, N. C.; WEIL, R. R. Elementos da natureza e propriedades dos solos. Bookman Editora, 2009.

BRADY, N. C. Natureza e propriedades dos solos. 7.ed. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 1989. 878p.

CANCIAN, L. C. Variabilidade espacial da resistência a penetração, granulometria e umidade do solo. 2015. 59 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Curso de Pós-graduação em Agronomia, Universidade Federal de Santa Maria, RS. 2015.

CARNEIRO, M. A. C.; SOUZA, E. D.; REIS, E. F.; PEREIRA, H. S.; AZEVEDO, W. R. D. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo de cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 33, n. 1, 2009.

CARVALHO, E. J. M.; FIGUEIREDO, M. de S.; COSTA, LM da. 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.

CONCEIÇÃO, C.; G. determinação dos coeficientes de cultura e balanço hídrico da cultura do feijão com e sem irrigação suplementar na região de alegrete, rs. 22/01/2015. 87 p. Trabalho de conclusão de curso - Universidade Federal do Pampa. Alegrete-RS.

COSTA, F. D. S.; ALBUQUERQUE, J. A.; BAYER, C.; FONTOURA, S. M. V.; WOBETO, C. Propriedades físicas de um Latossolo Bruno afetadas pelos sistemas plantio direto e preparo convencional. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 27, n. 3, p. 527-535, 2003.

COUTO, L.; SANS, L. M. A. Características físico-hídricas e disponibilidade de água no solo. Embrapa Milho e Sorgo. Circular técnica, 2002.

CRUZ, A. C. R.; PAULETTO, E. A.; FLORES, C. A.; SILVA, J. B. Atributos físicos e carbono orgânico de um Argissolo Vermelho sob sistemas de manejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 27, n. 6, p. 1105-1112, 2003.

EMBRAPA. Correção do efeito da umidade sobre a resistência do solo à penetração, PR, 2012. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-produtos-processos-e-servicos/-/produto-servico/2341/correcao-do-efeito-da-umidade-sobre-a-resistencia-do-solo-a-penetracao>. Data de acesso: 24/05/2017.

FUNDAÇÃO DE ECONOMIA E ESTATÍSTICA. A agropecuária, o agronegócio e a economia gaúcha, RS, 2015. Disponível em: <http://www.fee.rs.gov.br/sinteseilustrada/a-agropecuaria-o-agronegocio-e-a-economia-gaucha/>. Data de acesso: 28/06/2017.

FEITOSA, J. R. Influência da pressão interna dos pneus e da velocidade nos parâmetros operacionais de um trator agrícola e nas propriedades físicas do solo. 2014. 87 f. Dissertação - Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais. 2014.

FEITOZA, M. Z. N. Estimativa da porosidade drenável por diferentes metodologias, 2006. 55 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Curso de Pós-graduação em Ciência do Solo. Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2006.

FIGUEIREDO, C. D.; SANTOS, G. G.; PEREIRA, S.; NASCIMENTO, J. D.; ALVES JÚNIOR, J. Propriedades físico-hídricas em Latossolo do Cerrado sob diferentes sistemas de manejo. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 13, n. 2, p. 146-151, 2009.

FONTANELA, E. Parâmetros físico-hídricos de um Latossolo sob diferentes sistemas de manejo e níveis de tráfego. Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, 2008. 72p. Dissertação de Mestrado.

GIRARDELLO, V. C.; AMADO, T. J.; MISIEWICZ, P.; SMITH, E. K. Tráfego controlado de máquinas agrícolas: a experiência inglesa e perspectivas de adoção no Sul do Brasil. Revista Plantio Direto - Edição, v. 137, 2013.

GOEDERT, W. J.; SCHERMACK, M. J.; DE FREITAS, F. C. Estado de compactação do solo em áreas cultivadas no sistema de plantio direto. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 37, n. 2, p. 223-227, 2002.

GUIMARÃES, E.C. Variabilidade espacial de atributos de um Latossolo Vermelho-Escuro textura argilosa da região do cerrado, submetido ao plantio direto e ao plantio convencional. Campinas, Universidade Estadual de Campinas, 2000. 89p. (Tese de Doutorado).

HAMZA, M.A.; ANDERSON, W.K. Soil compaction in cropping systems: A review of the nature, causes and possible solutions. Soil Till. Res., 82:121-145, 2005.

HILLEL, D. Environmental soil physics. San Diego: Academic, 1998. 757p.

INMET. Normais climatológicas 1961 a 1990. INMET. Brasília, 2017.

KONDO, M. K. Gênese, morfologia e classificação do solo: Universidade Estadual de Montes Claros, 2008. 154 F. Apostila.

LORENZO, M. Pedologia - morfologia: porosidade do solo. Disponível em: <https://marianaplorenzo.com/2010/10/17/pedologia-%E2%80%93-morfologia-porosidade-do-solo/>. Data de acesso: 22/05/2017.

MAGALHÃES, W. A.; CREMON, C.; MAPELI, N. C.; DA SILVA, W. M.; DE CARVALHO, J. M.; DA MOTA, M. S. Determinação da resistência do solo a penetração sob diferentes sistemas de cultivo em um Latossolo sob Bioma Pantanal. Revista Agrarian, v. 2, 2010.

MENTGES, M. I. Implicações do uso do solo nas propriedades físico-hídricas e mecânicas de um argissolo vermelho-amarelo e de um gleissolo háplico. 2010. 108 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Curso de Pós-graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal de Santa Maria, RS. 2010.

MORAES, M. T. Qualidade física do solo sob diferentes tempos de adoção e de escarificação do sistema plantio direto e sua relação com a rotação de culturas. 2013. 205 p. 2013. Tese de Doutorado. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) -Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

OTTO, S. R. L.; ALCAIDE, M. Determinação da Umidade Volumétrica do Solo no Tempo Real com Equipamento Baseado no Princípio do TDR. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 5, n. 2, p. 265-269, 2001.

PANACHUKI, E.; SOBRINHO, T. A.; VITORINO, A. C.; CARVALHO, D. D.; URCHEI, M. A. Parâmetros físicos do solo e erosão hídrica sob chuva simulada, em área de integração agricultura-pecuária. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 10, n. 2, p. 261-268, 2006.

PEDROTTI, A.; MÉLLO JÚNIOR, A. V. Avanços em Ciência do Solo: A Física do solo na Produção Agrícola e Qualidade Ambiental. São Cristovão: Editora UFS, Acaraju: Fapitec, 2009. 212p.

REICHARDT, K. Processos de Transferência no sistema Solo-Planta-Atmosfera. CAMPINAS: FUNDACAO CARGILL, 1985. 430 p.

REINERT, D. J.; ALBUQUERQUE, J. A.; REICHERT, J. M.; AITA, C.; ANDRADA, M. M. C. 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, p. 1805-1816, 2008.

REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. Propriedades físicas do solo. Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2006.

ROSA, D. P. Relação solo-máquina-planta num Argissolo cultivado e sob campo nativo. 2009. 109 f. Tese de Doutorado - UFSM, Santa Maria. 2009.

SANTIAGO, A. D.; ROSSETTO, R. Preparo convencional. Brasília, DF, 2007. Disponível em: http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01_84_22122006154841.html. Data de Acesso: 04/06/2017.

SANTOS, C. R.; CASSOL, I. J.; DA SILVA, L. A.; PONTIM, J. P. Á.; DA SILVA, T. H. S.; VIANA, S. H. B. Características físico-hídricas do solo, em área de plantio direto e convencional, em Aquidauana-MS. ANAIS DO ENIC, n. 6, 2015.

SILVA, J.; WENDLING, B.; CAMARGO, R.; BARBOSA, L.; MENDONÇA, P.; FREITAS, M. Análise comparativa entre os sistemas de preparo do solo: aspectos técnicos e econômicos. Enciclopédia Biosfera, Goiânia, v. 7, n. 12, p. 1-11, 2011.

SILVA, M. A. S.; MAFRA, L. M.; ALBUQUERQUE, J. A.; MIELNICZUK, J., BAYER, C. Atributos físicos do solo relacionados ao armazenamento de água em um Argissolo Vermelho sob diferentes sistemas de preparo. Ciência Rural, v. 35, n. 3, 2005.

SILVA, R. B. D.; DIAS JUNIOR, M. S.; SILVA, F. A. D. M.; FOLE, S. M. O tráfego de máquinas agrícolas e as propriedades físicas, hídricas e mecânicas de um Latossolo dos Cerrados. Bras. Ci. Solo, v. 27, p. 973-983, 2003b.

SILVA, V. R. Propriedades físicas e hídricas em solos sob diferentes estados de compactação. 2003. 171p. 2003. Tese de Doutorado. Tese (Doutorado) -Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

SOLOS, Embrapa. Manual de métodos de análise de solo. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1997.

SOUZA, Z. M.; ALVES, M. C. Movimento de água e resistência à penetração em um Latossolo Vermelho distrófico de cerrado, sob diferentes usos e manejos. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 7, n. 1, p. 18, 2003.

STRECK, C. A.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; & KAISER, D. R. Modificações em propriedades físicas com a compactação do solo causada pelo tráfego induzido de um trator em plantio direto. *Ciência Rural*, v. 34, n. 3, 2004.

TAVARES FILHO, J.; BARBOSA, G. M. C.; GUIMARÃES, M. F.; FONSECA, I. C. B. Resistência do solo à penetração e desenvolvimento do sistema radicular do milho (*Zea mays*) sob diferentes sistemas de manejo em um Latossolo Roxo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 25, n. 3, p. 725-730, 2001.

TAYLOR, H.M.; ROBERSON, G.M.; PARKER, J.J. Soil strength root penetration relations for médium to coarse textured soil materials. *Soil Sci.*, 102:18-22, 1966.

TORMENA, C. A.; BARBOSA, M. C.; COSTA, A. D.; GONÇALVES, A. C. A. Densidade, porosidade e resistência à penetração em Latossolo cultivado sob diferentes sistemas de preparo do solo. *Scientia Agrícola*, v. 59, n. 4, p. 795-801, 2002.

TORMENA, C. A.; SILVA, A. D.; LIBARDI, P. L. Caracterização do intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Roxo sob plantio direto. *Embrapa Solos-Artigo em periódico indexado (ALICE)*, 1998.

VIEIRA, M. L. Propriedades físico-hídrico-mecânicas do solo e rendimento de milho submetido a diferentes sistemas de manejo. 2006. 104 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia), Universidade de Passo Fundo, RS.

APÊNDICE A - Análise de variância para as propriedades de umidade gravimétrica (%); umidade volumétrica (%), densidade do solo (g cm^{-3}), densidade de partículas (g cm^{-3}), porosidade total do solo, resistência do solo a penetração (KPa).

Fontes de variação	GL ¹	SQ ²	QM ³	F ⁴
	Umidade gravimétrica (%)			
Sistemas de plantio (SP)	1	41,89684	41,89684	175,0168 **
Níveis e tráfego (F)	3	19,41344	6,47115	27,0321 **
Profundidade (P)	3	68,68347	22,56116	94,2453 **
SP X F	3	13,42202	4,47401	18,6894 **
SP X P	3	1,26799	0,42266	1,7656 ns
F X P	9	9,98623	1,10958	4,6351 **
Resíduo	64	15,32080	0,23939	
Total	95	190,24845		
Umidade volumétrica (%)				
Sistemas de plantio (SP)	1	113,40789	113,40789	70,5744 **
Níveis e tráfego (F)	3	32,86185	10,95395	6,8167 **
Profundidade (P)	3	90,88963	30,29654	18,8537 **
SP X F	3	41,89168	13,96389	8,6898 **
SP X P	3	9,64770	3,21590	2,0013 ns
F X P	9	22,44006	2,49334	1,5516 ns
Resíduo	64	102,84326	1,60693	
Total	95	462,14351		
Densidade do solo (g cm^{-3})				
Sistemas de plantio (SP)	1	0,00540	0,00540	5,5922 *
Níveis e tráfego (F)	3	0,03479	0,01160	12,0086 **
Profundidade (P)	3	0,14267	0,04756	49,2499 **
SP X F	3	0,00631	0,00210	2,1776 ns
SP X P	3	0,00993	0,00331	3,4261 *
F X P	9	0,08744	0,00997	10,0611 **
Resíduo	64	0,06180	0,23982	
Total	95	0,37370		

Densidade de partículas (g cm⁻³)				
Sistemas de plantio (SP)	1	0,00163	0,00163	1,4133 ns
Níveis e tráfego (F)	3	0,12524	0,04175	36,1185 **
Profundidade (P)	3	0,00647	0,00216	1,8655 ns
SP X F	3	0,03131	0,01044	9,0304 **
SP X P	3	0,02614	0,00871	7,5387 **
F X P	9	0,02858	0,00306	2,6511 ns
Resíduo	64	0,07397	0,00116	
Total	95	0,34348		
Porosidade total do solo				
Sistemas de plantio (SP)	1	0,00118	0,00118	4,4135 *
Níveis e tráfego (F)	3	0,00207	0,00069	2,5772 ns
Profundidade (P)	3	0,02305	0,00768	28,7523 **
SP X F	3	0,00363	0,00121	4,5336 **
SP X P	3	0,00165	0,00055	2,0630 ns
F X P	9	0,01666	0,00185	6,9282 **
Resíduo	64	0,01710	0,00027	
Total	95	0,07395		
Resistência do solo a penetração (KPa)				
Sistemas de plantio (SP)	1	2177716,07208	2177716,07208	31,1591 **
Níveis e tráfego (F)	3	830257,42214	276752,47405	4,0869 *
Profundidade (P)	3	36779576,63008	12259858,8767	181,0455 **
SP X F	3	215879,60723	71959,86908	1,0627 ns
SP X P	3	2342811,14863	780937,04954	11,5324 **
F X P	9	582005,58242	64667,28694	0,9550 ns
Resíduo	64	43650404,72954	67717,01531	
Total	95	47984293,70555		

¹GL: graus de liberdade; ²SQ: soma de quadrados; ³QM: quadrado médio; ⁴F: F tabelado; --: os tratamentos são quantitativos; **: significativo ao nível de 1% de probabilidade de erro; * significativo ao nível de 5%; ns: não significativo a 5% de probabilidade.

APÊNDICE B - Interação para as propriedades de umidade gravimétrica (%); umidade volumétrica (%), densidade do solo (g cm^{-3}), densidade de partículas (g cm^{-3}), porosidade total do solo, resistência do solo a penetração (KPa).

Umidade gravimétrica (%)				
Manejo do solo X Níveis de tráfego				
	F0¹	F1²	F2³	F3⁴
PC	15,0058	13,7783	13,4017	13,1917
PD	12,8383	11,825	12,9392	12,49
Níveis de tráfego X Profundidade (cm)				
	P1¹	P2²	P3³	P4⁴
F0¹	13,6967	12,83	14,235	14,9267
F1²	11,4967	11,835	13,42	14,455
F2³	12,4167	12,97	12,935	14,36
F3⁴	12,1967	12,0417	12,985	14,14
Umidade Volumétrica (%)				
Manejo do solo X Níveis de tráfego				
	F0¹	F1²	F2³	F3⁴
PC	25,3142	23,4908	22,9867	22,6742
PD	21,563	20,2867	22,2431	21,6779
Densidade do solo (g cm^{-3})				
Manejo do solo X Profundidades (cm)				
	P1¹	P2²	P3³	P4⁴
PC	1,7592	1,7317	1,7067	1,6683
PD	1,7325	1,7467	1,6975	1,6292
Níveis de tráfego X Profundidade (cm)				
	P1¹	P2²	P3³	P4⁴
F0¹	1,6383	1,72	1,6783	1,6717
F1²	1,7533	1,7333	1,7217	1,6567
F2³	1,8017	1,735	1,69	1,6333
F3⁴	1,79	1,7683	1,7183	1,6333

Densidade de partícula (g cm⁻³)				
Manejo do solo X Profundidades (cm)				
	P1¹	P2²	P3³	P4⁴
PC	2,4933	2,524	2,465	2,5169
PD	2,5001	2,4906	2,5034	2,4722
Manejo do solo X Níveis de tráfego				
	F0¹	F1²	F2³	F3⁴
PC	2,4457	2,4914	2,4750	2,5871
PD	2,4629	2,4825	2,5005	2,5203
Porosidade total do solo				
Manejo do solo X Níveis de tráfego				
	F0¹	F1²	F2³	F3⁴
PC	0,3113	0,2997	0,2682	0,325
PD	0,3166	0,3157	0,3173	0,3126
Níveis de tráfego X Profundidade (cm)				
	P1¹	P2²	P3³	P4⁴
F0¹	0,3281	0,299	0,3154	0,3131
F1²	0,2991	0,2994	0,3008	0,3316
F2³	0,2767	0,2958	0,3218	0,3368
F3⁴	0,2918	0,3026	0,3142	0,3665
Resistência do solo a penetração (KPa)				
Manejo do solo X Profundidades (cm)				
	P1¹	P2²	P3³	P4⁴
PC	165,4556	944,0333	1796,825	1596,108
PD	329,8333	1783,983	1916,717	1676,8

¹F0: sem passagem; ²F1: uma passagem; ³F2: duas passagens; ⁴F3: três passagens; ¹P1: profundidade um (10cm); ²P2: profundidade dois (20cm); ³P3: profundidade três (30cm); ⁴P4: profundidade quarto (40cm).