



INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO PIAUÍ
CAMPUS URUÇUÍ
CURSO BACHARELADO EM ENGENHARIA AGRONÔMICA

MAYCON DANILO SOUSA ALVES

**INFLUÊNCIA DO TEMPO DE CULTIVO NA COMPACTAÇÃO DO SOLO EM
SUBSUPERFÍCIE**

URUÇUÍ

2022

MAYCON DANILO SOUSA ALVES

INFLUÊNCIA DO TEMPO DE CULTIVO NA COMPACTAÇÃO DO SOLO EM
SUBSUPERFÍCIE

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como exigência parcial para obtenção do diploma do Curso de Bacharelado em Engenharia Agrônômica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí. *Campus Uruçuí*.

Orientador: Dr. Vinicius Ribamar Alencar Macedo

Coorientador: Me. Paulo Henrique Dalto

URUÇUÍ

2022

INFLUÊNCIA DO TEMPO DE CULTIVO NA COMPACTAÇÃO DO SOLO EM SUBSUPERFÍCIE

Maycon Danilo Sousa Alves

Prof. Dr. Vinicius Ribamar Alencar Macedo

Prof. Me. Paulo Henrique Dalto.

RESUMO

Um dos grandes problemas enfrentados hoje na agricultura é a compactação do solo, tanto em superfície quanto em subsuperfície. A resistência do solo à penetração (RP) é uma análise física utilizada para avaliar a compactação do solo, onde por meio de equipamentos denominados penetrômetros, simula-se a resistência que o solo oferece à penetração das raízes. Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar a influência do tempo de cultivo na compactação do solo em subsuperfície, na camada de 0,20 à 0,60 m e confirmar se o uso de tratores e implementos agrícolas ajudam no processo de compactação. O estudo foi realizado na Fazenda Chapada do Céu, localizada no município de Sebastião Leal – PI, onde o solo é classificado como Latossolo Amarelo Distrófico Típico, sob o domínio do bioma cerrado. A resistência mecânica do solo à penetração foi determinada usando o método de STOLF com penetrômetro de impacto modelo IAA/Planalsucar com ângulo de cone de 300. As áreas estudadas foram Mata Nativa (MN) com 0 anos de cultivo e áreas com 12, 18 e 24 anos de cultivo. O tempo de cultivo influenciou na compactação das áreas cultivadas em subsuperfície. Porém houve compactação nas áreas cultivadas independente do tempo de cultivo em relação a área sem cultivo. As áreas cultivadas apresentaram valores superiores de RP em relação à mata nativa na camada de 0,20 à 0,40 m, porém na camada de 0,50 à 0,60 m, todas as áreas foram iguais estatisticamente e apresentaram valores de RP abaixo do valor crítico.

Palavras-chave: Camadas do solo; Tempo de cultivo; Penetrômetro.

ABSTRACT

One of the major problems faced today in agriculture is soil compaction, both on the surface and subsurface. Soil resistance to penetration (RP) is a physical analysis used to evaluate soil compaction, where through equipment called penetrometers, the resistance that the soil offers to root penetration is simulated. Thus, the objective of this work was to evaluate the influence of cultivation time on soil compaction in the subsurface, in the 0.20 to 0.60 m layer, and to confirm whether the use of tractors and agricultural implements help in the compaction process. The study was carried out at Fazenda Chapada do Céu, located in the municipality of Sebastião Leal - PI, where the soil is classified as Typic Dystrophic Yellow Latosol, under the domain of the cerrado biome. The mechanical resistance of the soil to penetration was determined using the STOLF method with an impact penetrometer model IAA/Planalsucar with a cone angle of 300. The areas studied were Mata Nativa (MN) with 0 years of cultivation and areas with 12, 18 and 24 years of cultivation. Cultivation time influenced the compaction of subsurface cultivated areas. However, there was compaction in the cultivated areas regardless of the cultivation time in relation to the uncultivated area. Cultivated areas showed higher RP values compared to native forest in the 0.20 to 0.40 m layer, but in the 0.50 to 0.60 m layer, all areas were statistically equal and presented RP values below the critical value.

Keywords: Soil layers; Cultivation time; penetrometer

1 INTRODUÇÃO

O aumento da produção agrícola tem ocorrido basicamente devido aos aumentos da produtividade, utilizando, além de outras técnicas, o uso intensivo do solo, uma vez que na agricultura moderna existe a preocupação da escala de produção, o que leva a práticas de manejo com uso intensivo da mecanização (CUNHA, 2008). Uma dessas práticas é o preparo do solo, que tem por objetivo melhorar as condições para a germinação, crescimento e desenvolvimento das plantas, bem como o controlar plantas indesejáveis e, em alguns casos, auxiliar no manejo dos resíduos culturais (LARSON; GILL, 1973). Todavia, as máquinas e implementos agrícolas utilizados para as operações de preparo do solo estão cada vez maiores e mais pesados, e com o uso crescente do maquinário nos sistemas produtivos. O solo passou a receber maior pressão, e quando associada ao uso inadequado, de acordo com as condições de umidade do solo, resulta no aumento da compactação e diminuição da produtividade das culturas (CORTEZ et al., 2017; FERRARI et al., 2018). A compactação do solo é definida como o aumento da densidade do solo em um mesmo volume, com a redução da sua porosidade, ocorrendo quando o solo é submetido a um grande esforço ou compressão, expulsando o ar dos poros e rearranjando as partículas (MAQUIEL, 2020).

Alakukku e Elomen (1994) afirmam que a compactação do solo tem se destacado em nível mundial como um dos fatores limitantes da qualidade física das terras agrícolas. Prejudicando a produtividade das culturas devido ao comprometimento da disponibilidade de água e nutrientes pela alteração da estrutura do solo (WIERMANN et al., 1999, 2000), geralmente desfavoráveis ao desenvolvimento vegetal (SPERA et al., 2004). A resistência do solo à penetração (RP) é uma das análises físicas do solo utilizada para avaliar a compactação do mesmo (FERRARI et al., 2018), onde por meio dos equipamentos denominados penetrômetros, simula-se a resistência que o solo oferece à penetração das raízes (MOLIN et al., 2012; STOLF, 1991) e tem sido um dos atributos físicos frequentemente utilizados na quantificação da qualidade estrutural adequada ao crescimento de plantas (PRINGLE; LARK, 2007; SUZUKI et al., 2007) em solo sob semeadura direta ou convencional (DE VITA et al., 2007).

Conhecer os limites críticos de resistência do solo à penetração é importante para empregar o manejo do solo adequado, viável e sustentável para o sistema

produtivo. Os valores críticos de resistência do solo à penetração de raízes variam de acordo com a classe de solo e com a espécie cultivada, porém, de modo geral, é considerado que 2,0 MPa seja o valor crítico de resistência ao crescimento radicular para a maioria das culturas cultivadas (PREVEDEL, 2021). Faz-se assim necessário entender os processos envolvidos nos sistemas de cultivo e identificar as características de cada talhão e/ou propriedade em produção, e como elas determinam o rendimento das culturas (CRISTIAN, 2018), incrementando o interesse em avaliar a qualidade física do solo pelos produtores e pesquisadores, por considerá-lo um componente fundamental na manutenção e sustentabilidade dos sistemas de produção agrícola (LIMA, 2004).

Diante disso o presente trabalho teve como objetivo avaliar a compactação do solo em subsuperfície em sistema de plantio direto e tempo de cultivo.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado na Fazenda Chapada do Céu, localizada no município de Sebastião Leal - PI, (07°40'44" S, 44°04'16" O) (Figura 1), a 445 metros acima do nível do mar. O solo é classificado como Latossolo Amarelo Distrófico Típico (SCHOSSLER et al., 2013) e o clima como Aw, com temperaturas médias de 26,7 °C e 1015 mm de pluviosidade média anual (CLIMATE-DATA, 2022) sob o domínio do bioma Cerrado. O manejo realizado na fazenda no momento da coleta era em sistema de plantio direto (SPD).

O solo foi irrigado com 5 mil litros de água em cada ponto de coleta 24 horas antes de serem realizadas as coletas dos dados com ajuda de um caminhão-pipa disponibilizado pela fazenda, para que, após a drenagem do excesso, o solo atingisse a capacidade de campo no momento da coleta. Foram realizadas as análises do teor de umidade do solo (Tabela 1) para cada camada nas áreas de coleta.

Tabela 1: Umidade do solo no momento da coleta

Anos de cultivo	Profundidade (cm)	Umidade (g.g ⁻¹)
MN	20-30	0,1345
MN	30-40	0,1318
MN	40-50	0,1274
12	20-30	0,1256
12	30-40	0,1138
12	40-50	0,900
18	20-30	0,1179
18	30-40	0,1168
18	40-50	0,1156
24	20-30	0,1369
24	30-40	0,1345
24	40-50	0,1413

MN = Mata Nativa

O delineamento utilizado foi inteiramente casualizado em esquema fatorial 4 x 8 onde as variações foram o tempo de cultivo (0, 12, 18 e 24 anos) e a profundidade (0,20-0,25; 0,25-0,30; 0,30-0,35; 0,35-0,40; 0,40-0,45; 0,45-0,50; 0,50-0,55 e 0,55-0,60 m) com 5 repetições e distância de 1 metro entre cada repetição, as análises foram realizadas a uma distância de aproximadamente 200 metros da estrada (Figura 2).

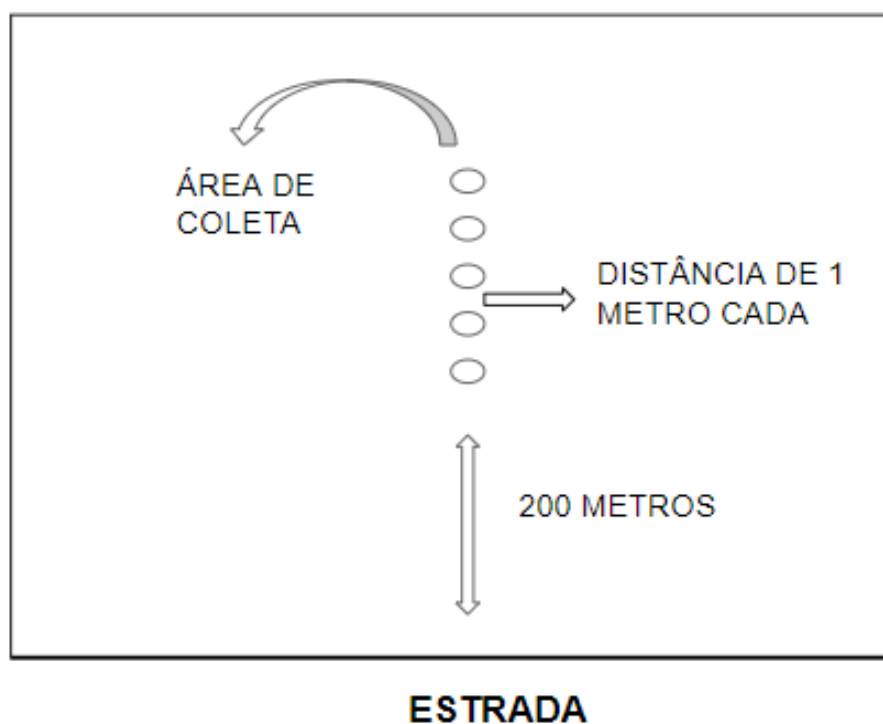


Figura 2: Croqui da área de coleta

A resistência mecânica do solo à penetração foi determinada usando o método de STOLF com penetrômetro de impacto modelo IAA/Planalsucar com ângulo de cone de 300 fornecido pelo Instituto Federal do Piauí campus Uruçuí. Os dados foram obtidos em impactos por centímetros e, em seguida, transformados para a unidade de pressão MPa por meio da fórmula descrita por Stolf (1991).

Em todas as áreas foi realizado supressão florestal de grade 28" seguida de outra grade 28" com ângulo de 45° em relação a primeira, seguida de escarificação a aproximadamente 30 cm seguida de outra escarificação a 30 cm a 45° em relação a primeira, seguida de grade niveladora 22" realizada 3x. Sempre que foi realizado o plantio de milho teve uma grade niveladora de 22" após a colheita aproximadamente 15 cm de profundidade e sempre que teve milheto a lanço também, porém ela foi realizada para incorporação das sementes, normalmente entre 5 e 10 cm de profundidade.

No talhão 8 teve escarificação 25 cm em 2019 depois da colheita do milheto, no talhão 16 teve escarificação 25 cm em 2020 no plantio do milheto, no talhão 17 teve escarificação 25 cm em 2020 no plantio do milheto. No momento das coletas, as áreas estavam sendo cultivadas em segunda safra, onde a área com 24 anos (talhão 8) estava sendo cultivada com milheto e as áreas com 18 (talhão 17) e 12 anos (talhão 16) com a cultura do milho (Figura 3).

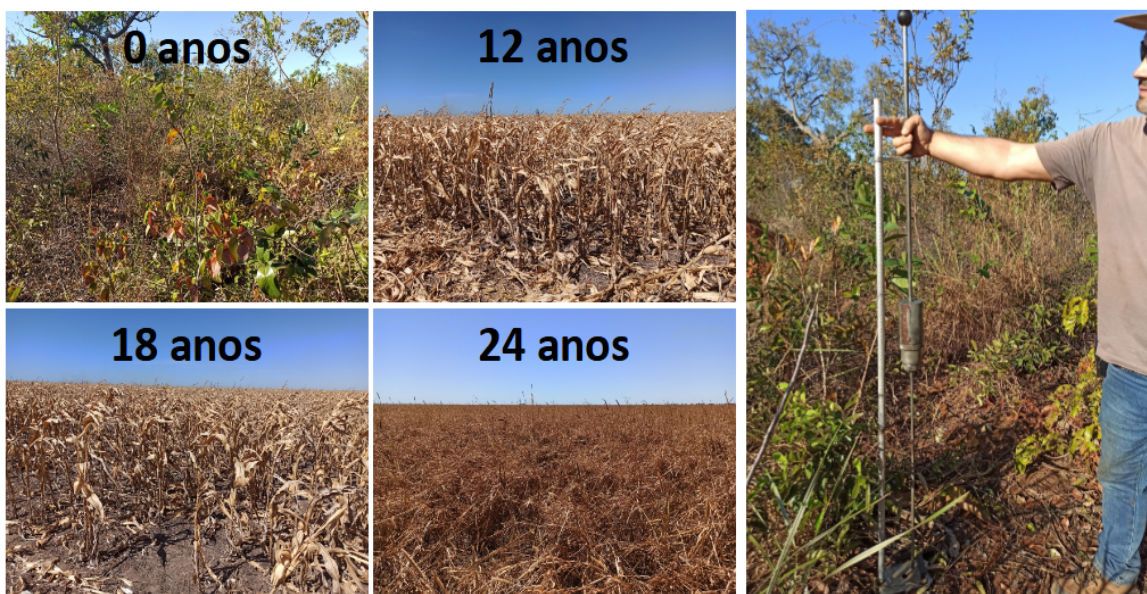


Figura 3: Áreas de coleta e Penetrômetro utilizado

Foi utilizado a análise de variância para avaliar a ocorrência de diferença significativa e o teste de Scott-Knott foi utilizado para avaliar as diferenças entre as médias a 5 %. Os dados foram tabulados com a ajuda do software Excel e as análises estatísticas realizadas pelo software estatístico Assistat 7.7.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise de variância mostrou-se significativa tanto para o tempo de cultivo, como para a profundidade e também para a interação entre esses fatores (Tabela 2).

Tabela 2 – Quadro da análise de variância			
FV	GL	F	
Tempo	3	38,9109	**
Profundidade	7	8,8068	**
Interação Tempo x Profundidade	21	4,3981	**

** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < .01$)

Na área sem cultivo, os valores da RP para as camadas 0,20 à 0,25 (1,04 MPa), 0,25 à 0,30 (1,17 MPa) e 0,30 à 0,35 m (1,18 MPa) foram estatisticamente iguais e inferiores as camadas 0,35 à 0,40 (1,36 MPa), 0,40 à 0,45 (1,49 MPa), 0,45 à 0,50 (1,52 MPa), 0,50 à 0,55 (1,44 MPa) e 0,55 à 0,60 m (1,49 MPa) que também apresentaram valores estatisticamente iguais (Tabela 3).

Tabela 3: Interação entre o tempo de cultivo e a camada de 0,20-0,60 m para a resistência a penetração do solo

Camada (m)	Tempo de cultivo (anos)							
	0		12		18		24	
0,20-0,25	1,04	bB	2,38	aA	2,21	aA	2,22	aA
0,25-0,30	1,17	cB	2,54	aA	2,05	bA	2,19	bA
0,30-0,35	1,18	bB	2,35	aA	1,91	aB	2,17	aA
0,35-0,40	1,36	bA	2,05	aA	2,19	aA	2,18	aA
0,40-0,45	1,49	bA	1,77	bB	2,19	aA	1,91	aA
0,45-0,50	1,52	bA	1,57	bB	2,02	aA	1,7	bB
0,50-0,55	1,44	aA	1,46	aB	1,7	aB	1,48	aB
0,55-0,60	1,49	aA	1,25	aB	1,67	aB	1,44	aB

Médias seguidas pela mesma letra, minúsculas nas linhas e maiúsculas nas colunas, não diferem estatisticamente entre si.

Silva, Tormena e Imhoff (2002) relatam que valores acima de 2,0 MPa de resistência à penetração do solo têm sido associado a condições impeditivas para o crescimento das raízes das plantas, e apenas a área sem cultivo conseguiu se manter abaixo dos 2,0 MPa em todas as camadas estudadas, com os valores variando entre 1,04 MPa na camada de 0,20 à 0,25 m até 1,52 MPa na camada de 0,45 à 0,50 m (Tabela 3). Bertol et al. (2004), encontrou resultados próximos ao deste trabalho numa área de Campo Nativo e, segundo o mesmo autor, as raízes presentes em áreas nativas podem estar contribuindo para a não compactação do solo.

Na área com 12 anos de cultivo, os valores de RP para as camadas 0,20 à 0,25 (2,38 MPa), 0,25 à 0,30 (2,54 MPa), 0,30 à 0,35 (2,35 MPa) e 0,35 à 0,40 m (2,05 MPa) se encontraram acima de 2,0 MPa, foram estatisticamente iguais e superiores as camadas 0,40 à 0,45 (1,77 MPa), 0,45 à 0,50 (1,57 MPa), 0,50 à 0,55 (1,46 MPa) e 0,55 à 0,60 m (1,25 MPa) que também apresentaram valores estatisticamente iguais ficando abaixo de 2,0 MPa. Isso ocorreu, segundo Veloso (2021), porque os principais fatores envolvidos na ocorrência da compactação do solo, são tráfego intenso de máquinas, preparo de solo com umidade inadequada e mobilização desnecessária do solo, todos ocorrendo nas camadas mais próximas a superfície do solo, explicando porque esses valores são mais elevados nessas camadas.

Na área com 18 anos de cultivo, os valores de RP para as camadas 0,20 à 0,25 (2,21 MPa), 0,25 à 0,30 (2,05 MPa), 0,35 à 0,40 (2,19 MPa), 0,40 à 0,45 (2,19 MPa) e 0,45 à 0,50 m (2,02 MPa), ficaram acima de 2 MPa e estatisticamente iguais, e nas camadas 0,30 à 0,35 (1,91 MPa), 0,50 à 0,55 (1,7 MPa) e 0,55 à 0,60 m (1,67 MPa) ficaram com valores abaixo de 2 MPa, que também ficaram iguais estatisticamente entre si.

Na área com 18 anos de cultivo, a camada de 0,30 à 0,35 m (1,91 MPa), mostrou valores abaixo de 2,0 MPa, assim como nas camadas, 0,50 à 0,55 (1,7 MPa) e 0,55 à 0,60 m (1,67 MPa), nas quais o valor da RP também ficou abaixo de 2,0 MPa. Nas demais camadas esses o valor de RP sempre se obteve acima de 2,0 MPa.

Em um trabalho semelhante, Tormena et al. (2004) relata a Influência de diferentes sistemas de preparo do solo nas propriedades físicas de um Latossolo Vermelho, onde os autores verificaram que quanto maior a profundidade da camada, menor foram os valores de RP em todos os tratamentos, não sendo constatadas diferenças significativas entre eles a partir de 0,30 m. Esse resultado pode ter ocorrido devido às camadas mais profundas sofrerem menor impacto do peso das máquinas.

Na área com 24 anos de cultivo, os valores de RP para as camadas 0,20 à 0,25 (2,22 MPa), 0,25 à 0,30 (2,19 MPa), 0,30 à 0,35 (2,17 MPa), 0,35 à 0,40 (2,18 MPa) e 0,40 à 0,45 cm (1,91 MPa) foram estatisticamente iguais e superiores as camadas 0,45 à 0,50 (1,7 MPa), 0,50 à 0,55 (1,48 MPa) e 0,55 à 0,60 m (1,44 MPa), que também apresentaram valores estatisticamente iguais.

Ainda falando sobre a área com 24 anos de cultivo, desde a camada 0,20 à 0,25 (2,22 MPa) até a camada 0,35 à 0,40 m (2,18 MPa), os valores de RP se encontram acima de 2,0 MPa, porém nas camadas mais profundas, 0,40 à 0,45 (1,91 MPa), 0,45 à 0,50 (1,7 MPa), 0,50 à 0,55 (1,48 MPa) e 0,55 à 0,60 m (1,44 MPa), os valores de RP ficam inferiores a 2,0 MPa.

Esse efeito nas camadas mais próximas a superfície do solo está, relacionado provavelmente à pressão média que o pneu exerce sobre a superfície, que é proximamente igual a pressão interna dos pneus, enquanto a compactação da subsuperfície está relacionada à carga total por eixo (BOTTA; JORAJURIA; DRAGHI, 1999).

Analisando o tempo de cultivo dentro de cada camada, para a camada de 0,25 à 0,30 m, percebemos que todas as áreas cultivadas, 12 anos (2,38 MPa), 18 anos (2,21 MPa) e 24 anos (2,22 MPa), foram estatisticamente iguais e superiores a área não cultivada (1,04 MPa), indicando que o cultivo, independente do tempo, causa compactação do solo, e as áreas cultivadas apresentaram maior RP do que a área sem cultivo. Beutler et al. (2001) verificaram que em sistemas de plantio direto a maior compactação do solo foi verificada a 0,15 m de profundidade, atribuído ao tráfego de máquinas quando o solo está muito úmido e ao não revolvimento do solo.

Na camada de 0,30 à 0,35 m apenas a área sem cultivo (1,18 MPa) foi inferior às demais, sendo que as áreas cultivadas, 12 anos (2,35 MPa), 18 anos

(1,91 MPa) e 24 anos (2,17 MPa) foram superiores e iguais estatisticamente entre si. O mesmo resultado foi encontrado na camada de 0,35 à 0,40 m, onde a área sem cultivo (1,36 MPa) foi a única que diferiu estatisticamente das demais áreas com, 12 (2,05 MPa), 18 (2,19 MPa) e 24 (2,18 MPa) anos de cultivo, sendo estas iguais estatisticamente.

Valadão Júnior (2009), num estudo realizado em Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico de textura argilosa em Campo Verde - MT, sob sistema de plantio direto com oito anos, verificou que em menos de um ano após a escarificação do solo a 0,30 m de profundidade, a RP já havia retornado à condição anterior ao uso desta prática, indicando que este manejo seria apenas temporário e explicando assim porque áreas com maior tempo de cultivo se mostram estatisticamente iguais as áreas com menor tempo de cultivo.

Na camada de 0,40 à 0,45 m, as áreas com 0 (1,04 MPa) e 12 anos de cultivo (1,77 MPa) foram iguais estatisticamente, diferindo das áreas com 18 (2,19 MPa) e 24 anos de cultivo (1,91 MPa), que também se mostraram iguais estatisticamente, porém estas foram superiores às áreas com 0 e 12 anos de cultivo. Apenas na área com 18 anos o valor de RP foi superior a 2,0 MPa.

Em um trabalho realizado por Mahl et al. (2008), eles explicam que isto pode estar associado ao tráfego de máquinas agrícolas utilizadas em operações de semeadura, cultivo e colheita, as quais por meio das pressões de contato de rodados e implementos aplicados ao solo, provocaram rearranjo dos agregados e, por consequência, maior consolidação da estrutura.

Na camada de 0,45 à 0,50 m, as áreas com 0 (1,52 MPa), 12 (1,57 MPa) e 24 (1,7 MPa) anos de cultivo foram iguais estatisticamente, e apenas a área com 18 anos (2,02 MPa) diferiu das demais. Isso pode ter ocorrido nessa camada provavelmente por conta do solo ter sido submetido a um esforço ou compressão em maior intensidade nessa área.

Na camada de 0,50 à 0,55 m na área de MN (1,44 MPa), 12 (1,46 MPa), 18 (1,7 MPa) e 24 anos de cultivo (1,48 MPa), assim como na camada 0,55 à 0,60 m, na área com 0 (1,49 MPa), 12 (1,25 MPa), 18 (1,67 MPa) e 24 anos de cultivo (1,44 MPa) não apresentaram diferença significativa, como também ficaram abaixo do nível crítico de 2,0 MPa. Esse comportamento pode ser devido às camadas mais

profundas sofrerem menor impacto da pressão causada pelos pneus dos tratores (DA SILVA, 2021) ou outras operações agrícolas que causam compactação.

Em todas as áreas cultivadas analisadas, a RP na camada de 0,20 à 0,40 m apresentou valores superiores a área sem cultivo. Em um trabalho parecido, Silva et al. (2000) relata que, em sistema de plantio direto, também verificaram a formação de uma camada de solo mais compactada na camada de 0,05–0,15 m por causa do tráfego de colhedora sobre o solo.

4 CONCLUSÕES

O tempo de cultivo influenciou na compactação das áreas cultivadas em subsuperfície, e houve compactação nas áreas cultivadas independente do tempo de cultivo em relação a área de MN.

As áreas cultivadas analisadas, apresentaram valores superiores de RP em relação a área sem cultivo na camada de 0,20 à 0,40 m, porém na camada de 0,50 à 0,60 m, todas as áreas foram iguais estatisticamente e apresentaram valores de RP abaixo do valor crítico.

REFERÊNCIAS

- AGRICULTURA brasileira. Disponível em: <https://www.infoescola.com/agricultura/agricultura-brasileira/>. Acesso em: 30 set. 2022.
- ALAKUKKU, L.P.; ELONEN, Paavo. Efeitos a longo prazo de uma única compactação por tráfego pesado de campo na produtividade e absorção de nitrogênio de culturas anuais. **Pesquisa de Solo e Cultivo**, v. 36, n. 3-4, pág. 141-152, 1995.
- ASSIS, Renato L. de; LAZARINI, Gilmar D.; LANÇAS, Kléber P.; CARGNELUTTI FILHO, Alberto. Avaliação da resistência do solo à penetração em diferentes solos com a variação do teor de água. **Engenharia Agrícola**, [S.L.], v. 29, n. 4, p. 558-568, 2009. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-69162009000400006>. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-69162009000400006>. Acesso em: 14 nov. 2022.
- BEUTLER, A.N. et al. Resistência à penetração e permeabilidade de Latossolo Vermelho distrófico típico sob sistemas de manejo na região dos cerrados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.25, n.1, p.167-177, 2001.

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. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [S.L.], v. 28, n. 1, p. 155-163, fev. 2004. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-06832004000100015>. Acesso em 14 de novembro de 2022.

BOTTA, G. G.; JORAJURIA, C. D.; DRAGHI, T. L. Soil compaction during secondary tillage traffic. **Agriciência**, Texcoco, v. 15, p. 139-144, 1999.

BROWN, V.; BARBOSA, F. T.; BERTOL, I.; MAFRA, A. L.; MUZEKA, L. M. Efeitos no solo e nas culturas após vinte anos de cultivo convencional e semeadura direta. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**. v. 13, n. 1, p1-7, 2018.

CAMPOS, S. A.; SOUZA, C. M.; GALVÃO, J. C. C.; NEVES, J. C. L. Atributos químicos e físicos de um Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico sob plantio direto. **Revista Agrarian**, v. 11, n. 41, p. 230-240, 2018.

CORTEZ, J. W.; MAUAD, M.; SOUZA, L. C. F.; RUFINO, M. V.; SOUZA, P. H. N. Atributos agronômicos da soja e resistência à penetração em plantio direto e escarificado. **Revista Engenharia Agrícola** v. 37, n. 1, 2017.

CLIMATE-DATA. Disponível em:

<<https://pt.climate-data.org/search/?q=sebastiao+leal>>. Acesso em: 10 de setembro de 2022.

DA SILVA, P. L. F. Compactação e seus efeitos sobre o funcionamento do solo e a absorção de nutrientes pelas plantas: Uma revisão bibliográfica. **Meio Ambiente**, v. 3, n. 2, 2021.

DE VITA, P. et al. Efeitos do plantio direto e do preparo convencional na produtividade do trigo duro, qualidade dos grãos e teor de umidade do solo no sul da Itália. **Pesquisa do solo e preparo do solo**, v. 92, n. 1-2, pág. 69-78, 2007.

FERRARI, J. M. S.; GABRIEL, C. P. C.; SILVA, T. B. G.; MOTA, F. D.; GABRIEL FILHO, L. R. A.; TANAKA, E. M. Análise da variabilidade espacial da resistência à penetração do solo em diferentes profundidades. **Brazilian Journal of Biosystems Engineering** v. 12, n. 2, p. 164-175, 2018.

JUNIOR, M.S.D. et al. Avaliação quantitativa da sustentabilidade estrutural dos solos em sistemas florestais na região de Aracruz-ES. **R. Árvore**, v. 23, n. 4, p. 371-80, 1999.

KOOLEN, A.J. Mecânica da compactação do solo. In: **Desenvolvimentos em Engenharia Agrícola**. Elsevier, 1994. p. 23-44.

LARSON, W.E.; GILL, W.R. Soil physical parameters for designing new tillage systems. In: **National Conservation Tillage Conference**. Ankeny: Soil Conservation Society of America, 1973. p. 13-22.

LIMA, C.R.L. **Compressibilidade de solos versus intensidade de tráfego em um pomar de laranja e pisoteio animal em pastagem irrigada**. 2004. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

MAQUIEL, A. (2020, 15 de dezembro). *Como ocorre a compactação do solo e como identificar*. MAIS SOJA - Pensou Soja, **Pensou Mais Soja**. “Disponível em:”

<<https://maissoja.com.br/como-ocorre-a-compactacao-do-solo-e-como-identificar/>>
 “Acesso em:” 28/09/2022.

MAHL, D. et al. Resistência do solo à penetração, cobertura vegetal e produtividade do milho em plantio direto escarificado. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 30, p. 741-747, 2008.

MATIAS, A.. **Piauí: capital, mapa, bandeira, economia, cultura - PrePara Enem**. Disponível em: <https://www.preparaenem.com/geografia/piaui.htm>. Acesso em: 30 set. 2022.

MOLIN, J.P.; DIAS, C.T.S.; CARBONERA, L. Estudos com penetrometria: Novos equipamentos e amostragem correta. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, p. 584-590, 2012.

PREVEDEL, DENISE. **Resistência do solo à penetração**: veja como evitar sua ocorrência. 3 maio 2021. Disponível em: <https://blog.aegro.com.br/resistencia-do-solo/>. Acesso em: 18 nov. 2022.

PRINGLE, M.J.; LARK, R.M. Correlações dependentes da escala e da localização da resistência do solo e do rendimento do trigo. **Pesquisa de Solo e Cultivo**, v. 95, n. 1-2, pág. 47-60, 2007.

REINERT, D.J. Forma estrutural e estabilidade do solo induzidas pelo preparo do solo em um hapludalf típico. 1992.

SCHOSSLER, T.R. et al. Condutividade hidráulica em campo e laboratório sob diferentes sistemas de manejo em Latossolo Amarelo. In: **Embrapa Cerrados-Artigo em anais de congresso (ALICE)**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 34., 2013, Florianópolis. Ciência do solo: para quê e para quem: anais. Florianópolis: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2013., 2013.

SILVA, A. P.; TORMENA, C. A.; IMHOFF, S. **Intervalo hídrico ótimo**. In: MORAES, M. H.; MÜLLER, M. M. L.; FOLONI, J. S. S. *Qualidade física do solo: métodos de estudo sistemas de preparo e manejo do solo*. Jaboticabal: FUNEP, 2002. p.1-18.

SILVA, V.R.; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M. Resistência mecânica do solo à penetração influenciada pelo tráfego de uma colhedora em dois sistemas de manejo do solo. **Ciência Rural**, v.30, p.795-801, 2000.

SILVA, G. J. Desenvolvimento de plantas de soja, milho, algodão e Brachiaria brizantha, submetidas a quatro graus de compactação de um latossolo vermelho-escuro distrófico. 2004. **Dissertação** (Mestrado em Agricultura Tropical) - Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da UFMT, Cuiabá, 2004.

SILVA, V.R. da; REINERT, D.J.; REICHERT, J. M. Suscetibilidade à compactação de um Latossolo Vermelho-Escuro e de um Podzólico Vermelho-Amarelo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 24, p. 239-249, 2000.

SPERA, S.T. et al. Efeitos de sistemas de produção de grãos envolvendo pastagens sob plantio direto nos atributos físicos de solo e na produtividade. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, p. 533-542, 2004.

SPERA, Silvio Tulio; SANTOS, Henrique Pereira dos; FONTANELI, Renato Serena; TOMM, Gilberto Omar. Efeito de pastagens de inverno e de verão em características físicas de solo sob plantio direto. **Ciência Rural**, Passo Fundo-Rs, v. 36, n. 4, jul. 2006. Disponível em:

https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0103-84782006000400023&script=sci_arttext&tlng=pt. Acesso em novembro de 2022.

STOLF, R. Teoria e teste experimental de fórmulas de transformação dos dados de penetrômetro de impacto em resistência de solo. **Revista brasileira de ciência do solo**, v. 15, n. 3, p. 229-235, 1991.

SUBTROPICAL, E. **COMPACTAÇÃO DE SOLOS CULTIVADOS COM CANA-DE-AÇÚCAR: EFEITOS DO TRÁFEGO E DE SISTEMAS DE MANEJO**. 2018. Tese de Doutorado. INSTITUTO AGRONÔMICO.

SUZUKI, L.E.A.S. et al. Grau de compactação, propriedades físicas e rendimento de culturas em Latossolo e Argissolo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, p. 1159-1167, 2007.

TORMENA, Cássio A. et al. Influência de diferentes sistemas de preparo do solo nas propriedades físicas de um Latossolo Vermelho distrófico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 8, p. 65-71, 2004.

VALADÃO JÚNIOR, D. D. **Regeneração física de um Latossolo após intervenção com diferentes equipamentos**. 77 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, MT, 2008.

VELOSO, CRISTIANO. **Entenda o que é a compactação do solo e como ela pode afetar as plantas**. 29 abr. 2021. Disponível em: <https://blog.verde.ag/nutricao-de-plantas/o-que-e-a-compactacao-do-solo-e-com-o-ela-pode-afetar-as-plantas/>. Acesso em: 14 nov. 2022.

WIERMANN, C.; WERNER, D.; HORN, R.; ROSTEK, J.; WENER, B. Stress/strain processes in a structured silty loam Luvisol under different tillage treatments in Germany. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v.53, p.117-128, 2000.