

INSTITUTO FEDERAL DE SANTA CATARINA
CÂMPUS CANOINHAS
AGRONOMIA

Diogo Simão Sudoski
Jorge Rafael Watanabe

**DESENVOLVIMENTO DA CULTURA DO MILHO EM DIFERENTES
NÍVEIS DE DENSIDADE DO SOLO**

Canoinhas – SC (2023)

Diogo Simão Sudoski
Jorge Rafael Watanabe

**DESENVOLVIMENTO DA CULTURA DO MILHO EM DIFERENTES
NÍVEIS DE DENSIDADE DO SOLO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Curso de Bacharelado em Agronomia do
Câmpus Canoinhas do Instituto Federal de
Santa Catarina como requisito parcial à
obtenção do título de **Engenheiro agrônomo**

Orientador
Jefferson Schick

Coorientador
Douglas André Wurz

Canoinhas – SC (2023)

Diogo Simão Sudoski
Jorge Rafael Watanabe

**DESENVOLVIMENTO DA CULTURA DO MILHO EM DIFERENTES
NÍVEIS DE DENSIDADE DO SOLO**

Este trabalho foi aprovado pela Banca examinadora composta por Jefferson Schick orientador, Luís Carlos Vieira e Daiane Caroline Wagner na data (07/06/2023), cujas notas e assinaturas constam em Ata de Defesa/Ficha de Avaliação. Por fim, as considerações propostas pela Banca foram incorporadas no trabalho, estando este apto para arquivamento.



Dr Jefferson Schick, Instituto Federal de Santa Catarina

AGRADECIMENTOS

Primeiramente à Deus pela vida e sempre estar conosco;

Aos familiares que sempre estiveram nos apoiando nas horas difíceis;

Ao orientador Jefferson Schick pela ideia inicial e apoio ao desenvolvimento do trabalho;

Ao professor Douglas A. Wurz pelo apoio em frente a coordenação do curso e atenção a todas as dúvidas recorrentes.

À todos os professores que ministraram ao longo do curso pelo conhecimento transmitido, conselhos e apoio sempre que precisamos

Aos Funcionários Mauro e Cleiton pelos serviços prestados e dedicação nas atividades a campo;

Ao amigo Nabor que nos auxiliou nos trabalhos a campo.

RESUMO

O uso intensivo de máquinas cada vez mais pesadas tem levado ao aumento da compactação dos solos, fator que por muito tempo foi deixado de lado, tornando-se objeto de estudos e discussões. No presente trabalho foi avaliado o desenvolvimento da cultura do milho na safra 2022/2023 em solo não compactado (T1), compactado (T2), não compactado subsolado (T3) e compactado subsolado (T4). Foram mensuradas a altura de planta, diâmetro de colmo e produtividade. Foram avaliadas menores médias de altura de planta no tratamento compactado, comparado com os demais tratamentos. Na variável diâmetro de colmo não houve diferenças significativas. Para variável produtividade, comparando o tratamento compactado com o compactado subsolado, houve um acréscimo de produtividade em função de que não houve diferenças significativas na produtividade entre o tratamento não compactado(T1) para os tratamentos T3 e T4. No solo foi mensurado em todos os tratamentos a densidade a quatro profundidades (0-5 cm, 5-10 cm, 10-15cm e 15-20 cm).Os valores de densidade do solo avaliados nos diferentes tratamentos mostraram pequena alteração entre os resultados, as variações foram nas camadas superficiais do solo, que pode ser explicado pela descompactação natural causada pelo sistema radicular das plantas.Foi avaliada a resistência à penetração com o auxílio do penetrômetro digital. Na avaliação de resistência à penetração do solo nos tratamentos T1 e T2 as medições do penetrômetro alcançaram de 1800 e 2300 KPa respectivamente. Nos tratamentos T3 e T4 observou-se resistência à penetração do solo entre 500 a 600 KPa, essa diferença se deve ao uso do subsolador que faz a ruptura da camada compactada do solo.

Palavras-chave: *Zea mays*,densidade de solo, resistência à penetração, subsolagem

1. INTRODUÇÃO

Uma das principais fontes de estudo na agricultura é a movimentação de máquinas agrícolas sobre a condução da lavoura, máquinas cada vez mais pesadas para aumentar a performance e o rendimento operacional das práticas agrícolas exercem uma pressão no solo que acaba comprometendo a sua estrutura (JORGE, 1986).

Dos componentes do manejo, o preparo do solo é a atividade que mais exerce influência nos atributos, que indicam a qualidade física do solo, pois sua atuação está relacionada diretamente à sua estrutura (HAMZA et al, 2005). Para Reinert et al(2006), a avaliação da estrutura é por atributos que formam; geometria, tamanho e continuidade de poros; infiltração; retenção de água e aeração e a densidade do solo. A estrutura do solo é o resultado de um arranjo sistematizado entre seus componentes sólidos, minerais e orgânicos. É no seu sistema físico onde ocorrem as interações entre os gases e a solução do solo (Souza et al., 2014), em que a sua estrutura está mais suscetível a ações de manejo ou práticas culturais que resultem em degradação do sistema.

Segundo Ferreira (2010) a compactação do solo realizada pelo tráfego intensivo de máquinas, pessoas e animais, causa alteração estrutural do solo, aumentando a densidade e reduzindo a proporção de poros macroporos, o que dificulta a infiltração de água e trocas gasosas. A compactação do solo é um grande desafio a ser enfrentado em áreas agricultáveis conduzidas no sistema plantio direto, fator esse que limita maiores produtividades (STEFANOSKI, et al., 2013).

A propensão das plantas em explorar o solo depende da distribuição das raízes no perfil do solo, que, por sua vez, depende das condições físicas e químicas, que podem passar por alterações em função do manejo empregado. A pressão no solo, exercida, por exemplo, pelas rodas de máquinas agrícolas ou pelo pisoteio de animais, pode ocasionar a quebra dos agregados e o aumento da densidade do solo, diminuindo a porosidade e, consequência, ocasionando a diminuição da troca gasosa, limitando o movimento de nutrientes na água, reduzindo a taxa de infiltração de água. (VIANA et al., 2006).

Em áreas compactadas percebe-se alta resistência do solo à penetração (Severiano *et al.*, 2010), e pode ser avaliada através de equipamentos dinâmicos (penetrômetro de impacto) ou estáticos (penetrógrafo), sendo uma das principais consequências do manejo inadequado do solo, aparecendo, geralmente, abaixo da camada cultivada. A compactação altera o padrão de crescimento das raízes, pelo aumento da resistência e pelo decréscimo na porosidade do

solo (VIANA et al., 2006). Por efeito da compactação, ocorre um aumento da resistência mecânica e redução da porosidade, retenção de água e disponibilidade de água e nutrientes no solo, causando redução do crescimento e o desenvolvimento das culturas (TAVARES FILHO et al., 2001; STRECK et al., 2004).

Diante do exposto, este trabalho teve como objetivo avaliar o efeito de diferentes níveis de compactação do solo no desempenho agrônômico da cultura do milho nas condições edafoclimáticas do Planalto Norte Catarinense.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Localização da área experimental

O presente trabalho foi conduzido na área experimental do Instituto Federal de Santa Catarina Campus Canoinhas (figura 1), situado no município de Canoinhas – SC (26° 11' S, 50° 22' O altitude média de 775 metros). O solo onde foi implantado o experimento é classificado como Cambissolo húmico de textura média (30% argila, 35% silte e 35% areia).

Figura 1 - Imagem aérea do local do experimento.



Fonte: Google Maps (2023).

No ano de 2015 foi feito um plantio de erva mate, mas devido a umidade excessiva do solo as plantas não se desenvolveram bem, sendo necessário a mudança de local das mudas de erva mate e realizado no local subsolagem para facilitar o plantio. Em maio de 2017, um grupo de alunos do curso de agronomia, orientados pelo professor Jefferson Schick iniciaram o cultivo de aveia na área, seguida dos seguintes cultivos; milho (11/2017), aveia (05/2018), milho (11/2018), pousio (04/2018), crotalaria (10/2018), pousio (05/2019 a 10/2022) e milho (11/2022), avaliado no presente trabalho.

2.2 TRATAMENTOS

Os tratamentos, relacionados aos diferentes graus de compactação avaliados, foram os seguintes:

2.2.1 Tratamento T1

Por ocasião da implantação do experimento, não foi realizado nenhum tipo de intervenção do solo, servindo também como tratamento testemunha (solo não compactado).

2.2.2 Tratamento T2

As áreas compactadas utilizadas nesse experimento foram compactadas em (05/2017) e (11/2017). Em cada uma dessas datas foram realizadas dez passadas de trator, cobrindo toda área da parcela (figura 2). O trator utilizado foi da marca Coyote com aproximadamente 2.500kg, com dimensões do pneu dianteiro de 8,3x20" e 14,9x24" no pneu traseiro. O trator se encontrava com uma grade niveladora e uma lâmina frontal acopladas, simulando operações a campo (figura 2).

Figura 2 – Trator com seus implementos acoplados.



As compactações foram realizadas em faixas paralelas de aproximadamente 3,5 metros de largura e 25 metros de comprimento, de forma aleatória (sorteio) em relação às faixas apresentadas na (figura 3). O solo estava com alta umidade para facilitar a sua compactação (figura 4 e 5).

Figura 3 – Croqui da área após a implantação do experimento em 2017.

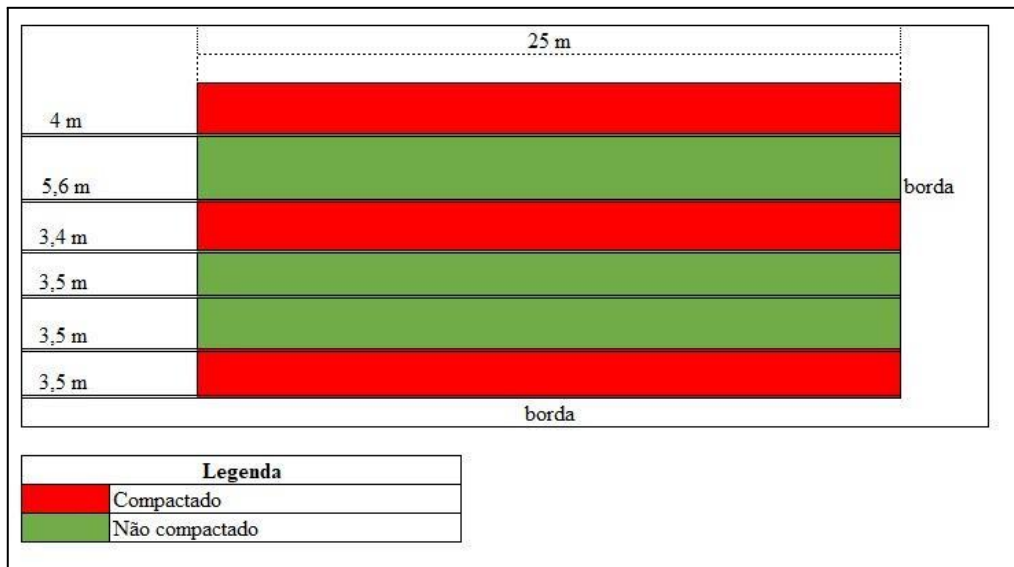


Figura 4 – Realização da compactação com o trator.



Foto: Schick (2017).

Figura 5 – Detalhe da área após a compactação.

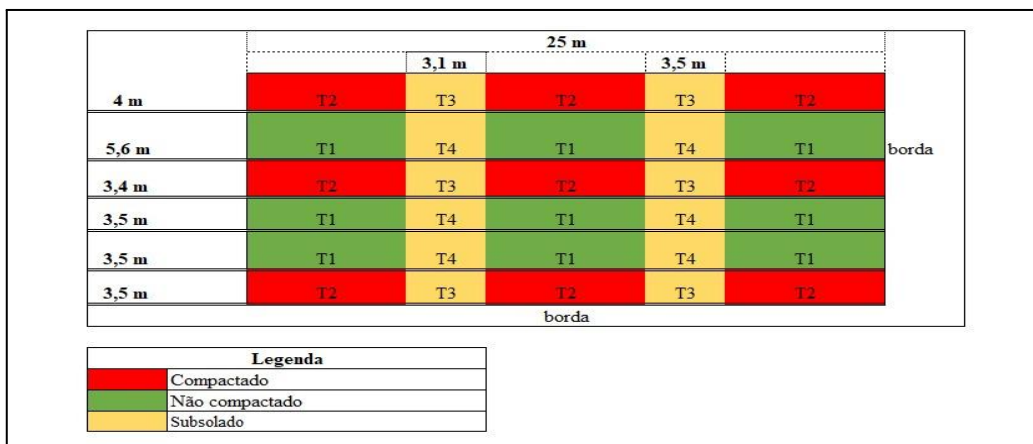


Foto: Schick (2017)

2.2.3. Subsolação (T3 e T4)

A subsolação é uma forma de preparo, que mobiliza o solo para quebrar as camadas compactadas ou adensadas. Para a realização do presente trabalho, avaliado na safra 2022/2023, foram incluídos mais dois tratamentos: a subsolação em área compactada (T3) e a subsolação em área não compactada (T4). Para tanto, realizaram-se subsolações no sentido transversal à disposição das parcelas originalmente implantadas (Figura 6). As subsolações foram realizadas com um subsolador de cinco hastes, em condição de umidade friável (2 a 3 dias após um período chuvoso) .

Figura 6 – Croqui detalhado da área experimental.



Fonte: Os autores (2023).

As subsolagens foram iniciadas na bordadura do experimento (Figuras 6 e 7) e seguiram até a outra borda paralela na profundidade de aproximadamente 25 cm. O subsolador estava com as 5 hastes, acoplado ao trator coyote (Figura 8). Foram realizadas 3 passadas do subsolador para garantir eficiência na operação sendo a primeira e a segunda 2 linhas paralelas de 1,3 metros cada, e a terceira foi passado no meio das 2 linhas anteriores.

Figura 7 – Início da subsolagem na borda do experimento.



Foto: Os Autores (2022)

Figura 8 - Subsolagem ao longo do experimento.



Foto: Os autores (2022).

2.3 CULTURA AVALIADA

Para o experimento em questão foi avaliada a cultura do milho (*Zea mays*). Para tanto foi realizada dessecação da área com herbicida glifosato na dose de 2 litros/hectare, 30 dias antes da semeadura com pulverizador costal manual de 20 litros. A semeadura (Figura 9) foi realizada nos dias 08 e 09 de novembro de 2022 com plantadeira manual (pica-pau) (Figuras 9 e 10), a semente utilizada foi o híbrido AO 1052 Daronco[®] de ciclo médio, com espaçamento entre linhas de 0,60 m e entre plantas de 0,25 m, gerando uma população de 66000 plantas por hectare. Para o plantio não foi utilizada adubação de base, não se tinha disponível semeadeira com compartimento de adubo. A adubação de base é a que se faz durante a semeadura. Em 06 de dezembro de 2022 foi realizada a adubação de cobertura com adubo comercial fórmula N.P.K. 15-00-15 na dosagem de 400 kg/ha, com o solo úmido, para o melhor aproveitamento da cultura. Como tratos culturais foi realizada a capina química com uso do herbicida glifosato, para controle de ervas daninhas.

Figura 9 – Plantio do milho.



Fonte: Os autores (2022).

Figura 10 –Detalhe da plantadeira manual (pica-pau).



Fonte: Os autores (2023)

2.4 AVALIAÇÃO DA ESTRUTURA DO SOLO

2.4.1 Densidade do solo

A densidade do solo foi avaliada em 2023 seguindo a metodologia descrita por Teixeira, et al., (2017), com 4 repetições em cada tratamento. As amostras do solo para determinação da densidade foram coletadas em quatro profundidades, 0-5 cm, 5-10 cm, 10-15 cm e 15-20 cm, camadas de maior atividade do sistema radicular das culturas anuais, em que mais sofrem o efeito da compactação. Os anéis utilizados para a coleta das amostras eram de ferro, com dimensões de 7,1 cm de diâmetro e 5 cm de altura (Figura 11). Foram utilizados ainda uma marreta pequena, uma espátula e uma estrutura para inserir os anéis no solo, (Figura 12). A extração dos mesmos foi feita com auxílio de uma enxada.

Figura 11 – Anel volumétrico para a retirada das amostras.



Fonte: Os autores (2023).

Figura 12– Equipamentos auxiliares na coleta das amostras: espátula, marreta e anel fixado com barra de ferro.



Fonte: Os autores (2023).

Nos locais designados (ao acaso) para cada amostragem foi removida com a enxada, a cobertura vegetal com cuidado para não comprometer a estrutura do solo. Conforme ilustrado na figura 13, o anel foi fixado ao solo, em seguida foi removido o solo ao lado do anel, para permitir a retirada sem comprometer a sua estrutura. O anel foi retirado do solo de forma a manter a amostra solo dentro do anel com sua estrutura original (figura 13)

Figura 13 Demonstração da retirada da amostra de solo no perfil.



Fonte: Os autores (2023).

Após as coletas, as amostras foram protegidas com papel alumínio na sua parte inferior para não ocorrerem perdas durante o manuseio. A figura 14, ilustra as amostras identificadas e posteriormente levadas à estufa à 105°C por 24 horas.

Figura 14 – Identificação das amostras (A) e estufa para secagem (B) .



Fonte: Schick (2023).

Após o período de secagem, o solo foi removido do anel com o objetivo de quantificar a sua massa (figura 15 a). A massa foi quantificada mediante o uso de uma balança analítica (figura 15 b)

Figura 15 – Remoção do solo do anel volumétrico e pesagem na balança analítica.



Fonte: Os autores (2022).

A densidade do solo foi obtida mediante a relação massa e volume expressa em gramas/cm³. A massa refere-se ao peso do solo seco obtido das etapas descritas anteriormente, e o volume foi obtido pela fórmula: $V = \pi \cdot r^2 \cdot h$ onde:

V = volume do anel (cm³)

r = raio do anel (cm)

h = altura do anel (cm)

2.5. AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO NO SOLO

A resistência da penetração no solo, até a profundidade de 60 cm, foi avaliada no dia 24 de abril de 2023 com o medidor digital de compactação do solo penetroLOG[®] da marca Falker, (Figura 16).

Figura 16 – Ilustração do penetroLOG[®] .



Fonte: Falcker (2023)

Iniciando a medição, posicionamos o equipamento sobre a base refletora e seguimos as orientações da tela, inserido verticalmente ao solo e pressionando o mesmo (figura 17). Sinais visuais e sonoros avisam sobre a velocidade e profundidade em tempo real, ao chegar na profundidade selecionada o penetrômetro indicará o final da medição, o perfil de compactação do solo e as informações da medição ficam disponíveis na tela do smartphone ou em pendrive (Falcker).

Figura 17 – Uso do penetroLOG[®] no solo



Fonte: Os autores (2023).

No visor do equipamento (figura 18), observa-se a velocidade em cm/segundo, a camada em que está sendo inserida e a resistência do solo em Kpa. A empresa criadora do equipamento recomenda não passar de 5 cm/segundo de velocidade para não comprometer a qualidade dos resultados.

Figura 18 – Layout do penetroLOG[®].



Fonte: Os autores (2023).

O equipamento forneceu ao final de cada avaliação, os valores de resistência do solo (expressa em KPa), na forma de gráficos, para cada centímetro de solo avaliado, os quais são transmitidos via bluetooth para um smartphone ou tablet, previamente cadastrados no aplicativo da Falker, conforme ilustrado na figura 19.

Figura 19 – Ilustração da transmissão de dados do penetroLOG®.



Fonte: Falker (2023).

A indicação para a realização da determinação é no momento em que o solo esteja próximo a sua capacidade de campo, que na prática é de 2 a 3 dias após um período chuvoso, de forma a padronizar os resultados permitindo a comparação entre diferentes situações.

Outro cuidado é que todas as análises sejam realizadas no mesmo dia para que não ocorra oscilação de umidade no solo e não afete os resultados. Essa prática foi conduzida seguindo os cuidados citados anteriormente. Também foram coletadas amostras de solo na área experimental (Figura 20 a) para determinar a umidade do solo no dia da avaliação. As amostras foram pesadas úmidas, para obter o peso úmido e levadas à estufa a 105°C por 24 horas (20 b). Após a secagem, as amostras foram pesadas em uma balança analítica (20 c) e (20 d) para obtenção do peso do solo seco.

Após a obtenção dos resultados de massa seca e massa úmida foi possível obter a umidade do solo pela fórmula:

$$h = \frac{P_a}{P_s} * 100, \text{ em que:}$$

h = porcentagem de umidade (%)

P_a = da água (g)

P_s = peso do solo seco (g)

A partir das amostras coletadas, posteriormente secas e da aplicação da fórmula descrita se obteve o teor de umidade médio do solo, que foi de 46,07%.

Figura 20 – Coleta, secagem e pesagem do solo para definição da umidade do solo.



Fonte: Os autores (2023).

2.6 AVALIAÇÃO DO DESENVOLVIMENTO DA CULTURA

2.6.1 Altura da planta e diâmetro do colmo

Na fase reprodutiva da cultura foram realizadas mensurações da altura da planta (cm) desde sua base até a extremidade da inflorescência masculina (pendão) com auxílio de uma trena anexada a um sarrafo de madeira de forma a facilitar a avaliação (figura 21). Para a avaliação do diâmetro do colmo, foi padronizado para todas as avaliações a mensuração acima do segundo nó basal, com o auxílio de um paquímetro (Figura 22).

Figura 21 – Mensuração da altura da planta.



Fonte: Os autores (2023).

Figura 22 – Mensuração do diâmetro do colmo.



Fonte: Os autores (2023).

2.6.2 Avaliação da produtividade

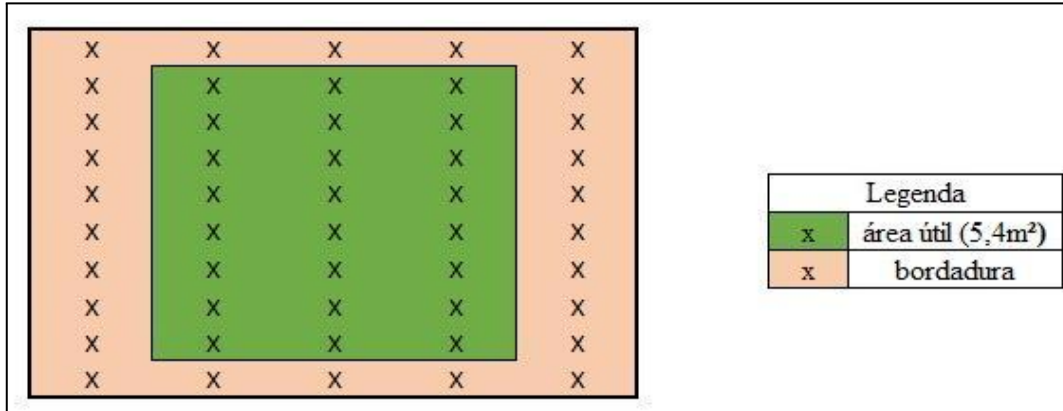
As coletas das amostras do milho visando a estimativa das produtividades foram realizadas manualmente no dia 21/04/2023 (figura 23), Foram descartadas as bordadura externas de 1,2 metros, que são áreas da divisão dos tratamentos, e foram descartadas para que não ocorram influência dos tratamentos vizinhos nos resultados (figura 24 e 25). Para os tratamentos 1 e 2 foram coletadas amostras em uma área de 5,4 m² dentro das parcelas, e para os tratamentos 3 e 4 em uma área 4,3 m², justificados por serem em áreas experimentais nas faixas de trabalho do subsolador e conseqüentemente menor.

Figura 23 – Colheita do experimento.



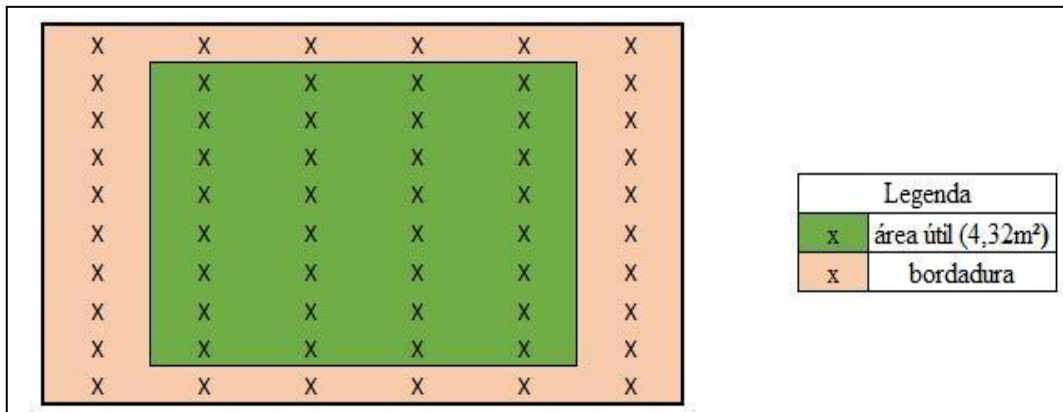
Fonte: Os autores (2023).

Figura 24 - Croqui ilustrando a área colhida para T1 (não compactado) e T2 (compactado).



Fonte: Os autores (2023).

Figura 25 – Croqui ilustrando a área colhida para T3 e T4.



Fonte: Os autores (2023).

As espigas coletadas foram despalhadas manualmente (figura 26 imagem A), debulhadas com o auxílio de um debulhador manual anexado a uma caixa (figura 26 imagens B-C), a máquina faz a separação dos grãos do sabugo (figura 26 imagem D). Em seguida foi realizada a pesagem dos grãos de todas as amostras.

Após a debulha foi realizada a avaliação da umidade nas amostras, através do uso de um medidor de umidade de grãos portátil da marca agroecologic, modelo AL-102 ECOR. O ministério da agricultura e pecuária (MAPA) estipula a comercialização dos grãos de milho na umidade de 14%, sendo realizada a correção da massa(peso) com a seguinte fórmula:

$$\text{peso corrigido para umidade desejada (14\%)} = \text{peso úmido} * ((100 - \text{umidade atual}) / (100 - 14))$$

Figura 26 – Debulha do milho



Fonte: Os autores (2023)

2.7 DADOS DE PRECIPITAÇÃO

A compactação do solo está ligada à disponibilidade de água para a cultura, em períodos de estiagem, a disponibilidade de água é um dos principais fatores limitantes à produtividade. Nesse sentido foram extraídos dados da precipitação mensal da estação meteorológica da Epagri, localizada no IFSC - Câmpus Canoinhas, a aproximadamente 20 metros da área experimental. Segundo Albuquerque e Resende (2007) cultivares de milho de ciclo médio para produção de grãos necessitam 400 a 700 mm de água para todo o ciclo, no experimento observou-se um acúmulo de 642,4 mm bem distribuídos ao longo do ciclo.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Densidade do solo

Os resultados das avaliações de densidade do solo, obtidos nos diferentes tratamentos avaliados são apresentados na tabela 1.

Em geral, a subsolagem promoveu diferenças significativas na densidade do solo de todas as camadas avaliadas em relação aos tratamentos T1 (não compactado) e T2 (compactado). Essas diferenças são justificadas pela ação do subsolador na quebra da estrutura do solo (compactada ou não), criando espaços porosos e diminuindo sua densidade (tabela 1). Para Reinert et al (2003), valores críticos de densidade para solos de textura média são de 1,4 g/cm³.

Tabela 1 - Média das densidades do solo (g/cm³) nos diferentes tratamentos avaliados.

Profundidade	T1	T2	T3	T4	CV%
(g/cm³)....				
0-5 cm	0,8aA	1,0 aB	0,8 aA	0,8 aA	6,21
5-10 cm	1,0bA	1,1 aA	0,8 aB	0,8 aB	6,43
10-15 cm	1.0bA	1,1 aA	0,8 aB	0,8 aB	6,4
15-20 cm	1,0bA	1,1 aA	0,8 aB	0,8 aB	6,8
CV%	6,17	6,37	5,81	6,2	

Média de 4 repetições. T1 (não compactado), T2 (compactado), T3 (compactado subsolado), T4 (não compactado subsolado). Médias seguidas por letra minúsculas distintas na coluna e maiúsculas na linha diferem pelo teste de Tukey a 5% probabilidade de erro.

Na camada de 0-5 cm, observa-se na tabela 1 as maiores médias de densidade do solo no tratamento compactado (T2), isso justifica-se pelas passagens do trator na área para ser realizada a compactação. Já para os demais tratamentos, na camada de 0-5 cm houve semelhança estatística na densidade do solo. De modo geral, em profundidade não houve diferenças significativas entre os tratamentos, porém em termos numéricos a passagem de maquinário por diversas vezes sobre o mesmo local com excesso de peso e umidade do solo elevada, promoveu leve aumento da densidade do solo em todas as camadas observadas no tratamento compactado (T2), justificado pela pressão da roda do trator aliado a alta umidade

do solo, causando um adensamento das partículas, reduzindo a quantidade de macroporos no solo, conseqüentemente aumentando sua densidade (tabela 1).

Em trabalho realizado por Mazurana et al., (2013) em Argissolo Vermelho com fluxo controlado de máquinas, determinou-se que o tráfego teve influência no aumento densidade do solo nas camadas superficiais. Comparando com o atual estudo, observa-se o mesmo efeito do tráfego intensivo do trator na área, aumentando a densidade do solo.

Observa-se na tabela 2, uma redução nos valores de densidade do solo no tratamento compactado em 2022 comparados com os resultados dessa mesma área avaliada em 2017. Essa redução pode estar relacionada a descompactação natural do solo ao longo dos cultivos anteriormente citados, causada ação do sistema radicular das culturas implantadas e das plantas de cobertura, ação de macro e microrganismos, causando fissuras naturais e bioporos, aumentando sua macroporosidade e diminuindo a sua densidade.

Tabela 2 – Densidade do solo (g/cm³) em 2017 e 2022 para o tratamento compactado (T2).

Profundidade	2017	2022
0-5 cm	1,3	1,0
5-10 cm	1,3	1,1
10-15 cm	1,2	1,1
15-20 cm	1,1	1,1

Trabalho realizado por Adams (2016) avaliando a influência de crotalária, soja e milho e pousio sobre a estrutura do solo em latossolo vermelho, observou menores valores de densidade do solo na camada de 0-10 cm para a cultura do milho porém nas camadas de 10-20 apresentou maior densidade. Para a cultura da soja já se observou redução da densidade do solo nas camadas de 10-20 cm, que segundo o autor, pode estar ligada ao desenvolvimento das raízes pivotantes em profundidade. Relacionando com o estudo atual, observou-se o mesmo efeito das plantas de cobertura na diminuição da densidade do solo nas camadas superficiais.

3.2 Resistência à penetração

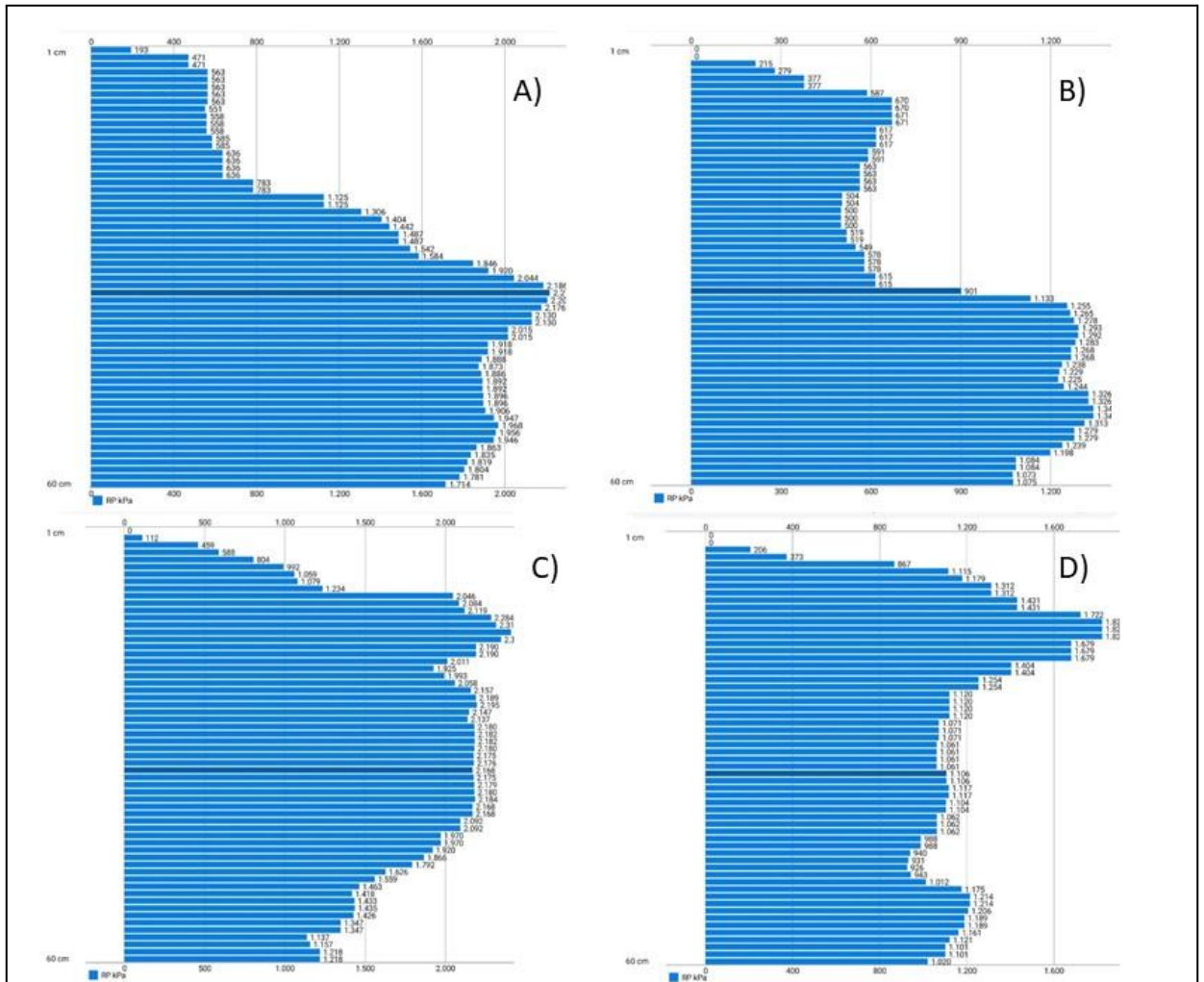
A resistência do solo a penetração é uma das propriedades físicas do solo diretamente relacionado ao crescimento das plantas, e essa pode sofrer modificações através do preparo do solo (LETEY, 1985.)

No tratamento compactado, os maiores valores de resistência à penetração na camada de 10-15 cm (figura 27), na faixa de 2300 kPa, havendo diferença quando comparado ao tratamento não compactado (figura 28) que na mesma camada apresentou resistência na faixa de 1800 kPa. Essa diferença de 500 kPa é relacionada ao efeito do tráfego do trator sobre o tratamento compactado, ocorre uma diminuição na macroporosidade e volume aumentando os níveis de densidade do solo. Para Silva et al. (2002) valores de 2000 kPa de resistência mecânica do solo impedem o crescimento radicular, indicando que no tratamento compactado na camada de 10-15 cm houve impedimento no desenvolvimento das raízes da cultura.

Comparando os valores de resistência à penetração do tratamento compactado (figura 27) com o compactado subsolado (figura 27), observamos que na camada 10-15 cm, a subsolagem causou uma redução de 1700 kPa, relacionado a ação do implemento sobre a estrutura do solo. O subsolador causou uma ruptura na camada compactada do solo, aumentando a sua porosidade e diminuindo a sua resistência à penetração.

Quando comparamos os valores do tratamento não compactado com o tratamento não compactado subsolador observamos uma diferença na camada de 10–15 cm de aproximadamente 1250 kPa, indicando que a ação do subsolador nessa camada do solo também alterou sua estrutura e diminuiu consideravelmente a sua resistência à penetração. Figuras 27 está mais detalhada em anexo.

Figura 27 - Dados de resistência à penetração do solo no tratamento compactado (A), não compactado (B), compactado subsolado (C), não compactado subsolado (D).



3.3. Altura, diâmetro do colmo e produtividade

No tratamento não compactado (T1), situação teoricamente favorável à produção de milho em relação a densidade do solo, observou-se produtividade de 8200 kg/ha. Quando comparado com o tratamento compactado (T2) que apresentou valores de 7224 kg/ha, observamos um acréscimo de produtividade de 12%, justificada pelos menores valores de densidade e resistência à penetração. Como citado anteriormente, ocorreu uma redução do tratamento de 12% comparado ao tratamento não compactado, indicando que a compactação do solo tem efeito no desempenho agrônômico da cultura do milho, pela redução da aeração do solo, redução da infiltração e retenção de água no solo, impedimento do desenvolvimento do sistema radicular em profundidade causando menor absorção de água e nutrientes.

Já quando comparado os valores com o tratamento não compactado subsolado, não observam-se diferenças significativas, justificadas pelo solo já estar nas condições necessárias para o cultivo. Na variável altura da planta observa-se uma média de 214,10 cm no tratamento não compactado (T1), diferindo do tratamento compactado (T2) que apresentou 192,90 cm, mas não diferindo dos tratamentos submetidos à subsolagem. Essa redução no tratamento compactado pode estar relacionado a redução da disponibilidade de água e nutrientes para a cultura, conseqüentemente comprometendo o seu crescimento. Na variável diâmetro de colmo não há diferenças significativas.

No tratamento compactado, observou-se as menores médias de produtividade e altura da planta, quando comparado aos demais tratamentos.

Tabela 3 – Resultados da avaliação da produtividade, altura da planta e diâmetro do colmo nos diferentes tratamentos avaliados.

Tratamentos	Produtividade (kg/ha)	Altura da planta (cm)	Diâmetro do colmo (cm)
T1 compactado	7224 b	192,90 b	1,74 a
T2 não compactado	8200 a	214,10 a	1,79 a
T3 comp. subsolado	8120 a	226,60 a	1,86 a
T4 não comp. subsolado	8110 a	217,75 a	1,76 a
CV%	9,85	8,11	14,3

Médias com letras distintas diferem de acordo com a análise de variância a 5% de probabilidade de erro submetidas ao teste de Tukey.

Fonte: Dos autores (2023)

A redução da produtividade na área compactada provavelmente poderia ser mais acentuada se houvesse estiagem ao longo do ciclo. Landau et. al. (2021) indica que o milho necessita de aproximadamente 600 mm de chuva bem distribuídos durante todo o ciclo para um bom desempenho agrônômico, e a precipitação acumulada durante o experimento foi de 642 mm bem distribuídos desde a emergência até o final do ciclo. Seixas (2001), não observou diferença estatística na produtividade da cultura do milho, devido a um bom regime pluviométrico e um baixo nível de estresse hídrico ao longo do ciclo. Porém o mesmo autor elenca que se houvesse um baixo regime pluviométrico, haveria diferenças abruptas sobre a

produtividade entre solos compactados e não compactado, pela necessidade do sistema radicular se desenvolver ao longo do perfil do solo, que seria impedido pela compactação.

No tratamento compactado subsolado, observa-se (tabela 3) produtividade de 8120 kg, diferindo apenas do tratamento compactado (7224 kg/ha) tendo um acréscimo de 11% na sua produtividade. Isso indica que a subsolagem de solos compactados aumenta consideravelmente a produtividade, pela diminuição da densidade do solo observado na tabela 1, proporcionando condições favoráveis para o desenvolvimento da cultura do milho.

No tratamento não compactado subsolado observou-se uma produtividade de 8120 kg/ha, diferindo apenas do tratamento compactado. Quando comparamos os resultados com o tratamento não compactado de 8200 kg/ha (tabela 3), não observam-se diferenças significativas, o que não torna a descompactação uma prática eficiente no aumento da produtividade da cultura do milho em uma área que não tenha sido constatado compactação. Muitas vezes os produtores rurais realizam a subsolagem sem o levantamento prévio das condições físicas do solo, como a densidade e a resistência à penetração, tendo um gasto maior e muitas vezes desnecessário no custo de produção.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

- 1 - A produtividade do milho foi afetada pela maior densidade (compactação) do solo.
- 2 - A realização da subsolagem em solos compactados pode promover incrementos na produtividade do milho;
- 3 - A realização da subsolagem em solos não compactados não promove incrementos significativos na produtividade da cultura do milho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADAMS, G. A. **Influência de Diferentes Tipos de Plantas Sobre a Estrutura do Solo em Plantio Direto**. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Agronomia) – Universidade Federal da Fronteira Sul, Cerro Largo - RS, 2016.
- ALBUQUERQUE, P.E.P.; RESENDE, M. **Cultivo do Milho**. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Brasília, 3ª edição, set. 2007.
- BANDEIRA, P. M. C. **Efeito do sistema plantio direto na resistência mecânica do solo à penetração**. 2020. 33 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Agrícola e Ambiental, Departamento Engenharia e Ciências Ambientais, Universidade Federal Rural do Semi Árido, Mossoró, 2020.
- FERREIRA, M. M. **Caracterização física do solo**. In: LIER, Q.J. van. (Ed). Física do solo. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2010.p. 12-24.
- HAMZA, M. A.; ANDERSON, W.K. **Soil compaction in cropping systems: A review of the nature, causes and possible solutions**, Soil & Tillage Research, v.82, p.121-145, 2005.
- JORGE, J. A. **Compactação do solo: causas, consequências e maneiras de evitar sua ocorrência**. Campinas. Instituto Agrônomo, 1986. 22p. (Circular 117).
- LANDAU, E. L., et al. **Milho - Relações com o Clima**. EMBRAPA Milho e Sorgo, 2021. Disponível em: <
<https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/milho/pre-producao/caracteristicas-da-especie-e-relacoes-com-o-ambiente/relacoes-com-o-clima> > acesso em: 25/05/2023.
- LETEY, J. **Relationship between soil physical properties and crop production**. Advances in Soil Science, v.1, p.277-294. 1985.
- MAZURANA, Michael et al. **Propriedades físicas do solo e crescimento de raízes de milho em um argissolo vermelho sob tráfego controlado de máquinas**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, [S.L.], v. 37, n. 5, p. 1185-1195, out. 2013. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-06832013000500008>
- REINERT, D. J.; BRAIDA, J. A. **Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas**. Ciência e Ambiente, [S.l.], v.27 p.29-48, 2003.
- SEIXAS, J. **Níveis de compactação do solo na cultura do milho (*zea mays*)**. 2001. 90 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Agronomia, Departamento de Solos, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2001.
- SEKI, A.S., et al **Efeitos de práticas de descompactação do solo em área sob sistema plantio direto**. Revista Ciência Agronômica, v. 46, n. 3, p. 460-468, jul-set, 2015 Centro de Ciências Agrárias - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE.

STEFANOSKI, D. C.; et al **Uso e manejo do solo e seus impactos sobre a qualidade física.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v. 17, n. 12, p. 1301-1309, dez. 2013

SEVERIANO, E. C., et al. **Potencial de descompactação de um Argissolo promovido pelo capim-tifton 85.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 14, p. 39–45, 2010.

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.

SINGER, M.; EWING, S. Soil quality. In: Sumner, M. E. (ed.). **Handbook of soil science.** Boca Raton: CRC Press, 2000. p.271-298.

SOUZA, L. da S. et al. **Adubação verde e plantas de cobertura no Brasil: fundamentos e prática.** Brasília: Embrapa, 2014. v.1, 507p

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.** Ci. Rural, 34:755-760, 2004.

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

TEIXEIRA, P.C., et al. **Manual e Métodos de Análise de Solo.** - 3. ed. rev. e ampl. - Brasília, DF: Embrapa, 2017.

VIANA, J. H. M., et al. **Manejo do Solo para a Cultura do Milho.** Sete Lagoas MG: Embrapa, 2006.

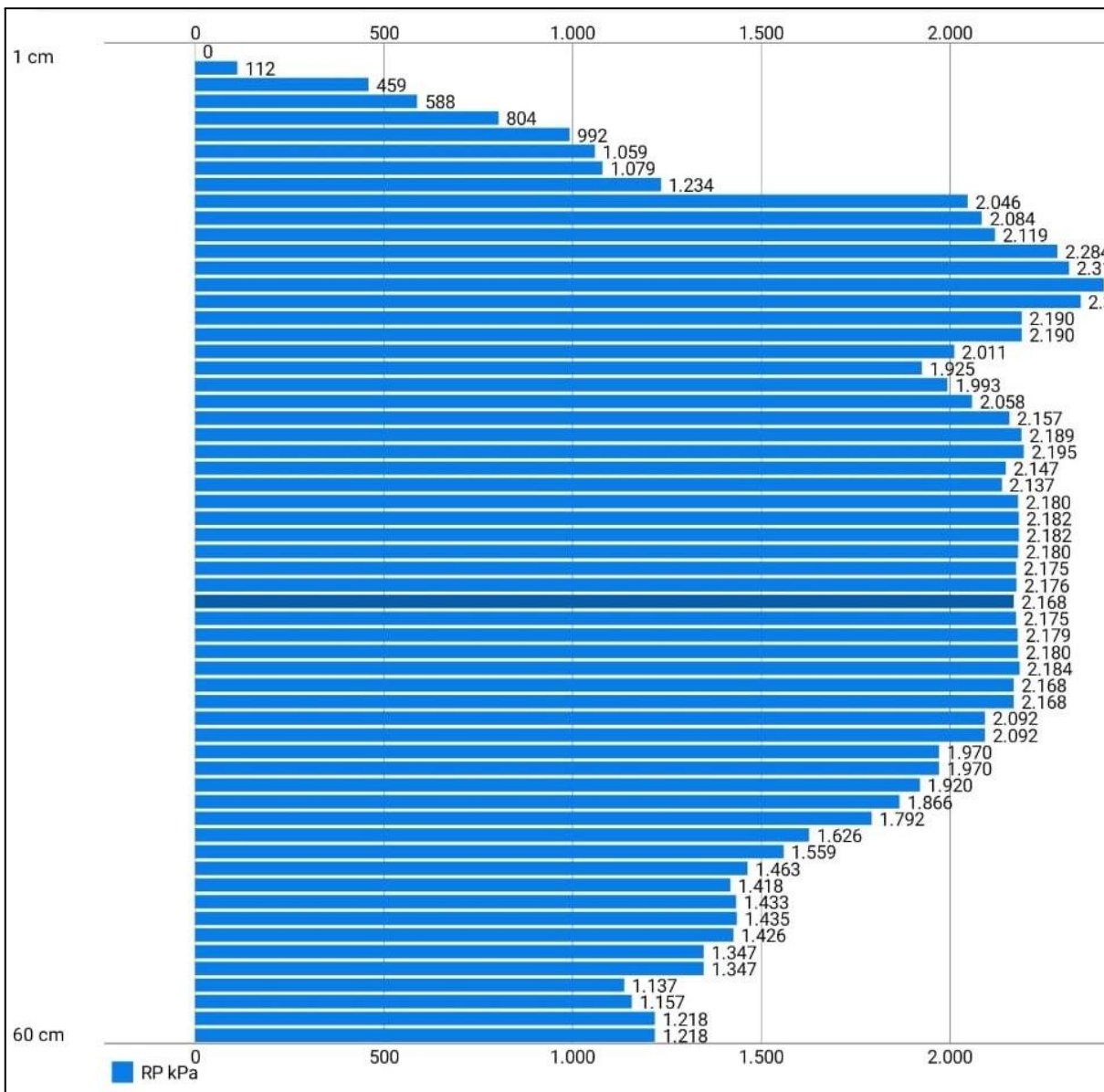
ANEXOS

ANEXO 1 Dados de densidade do solo

COMPACTADO					
profundidade (cm)	R1	R2	R3	R4	MÉDIA

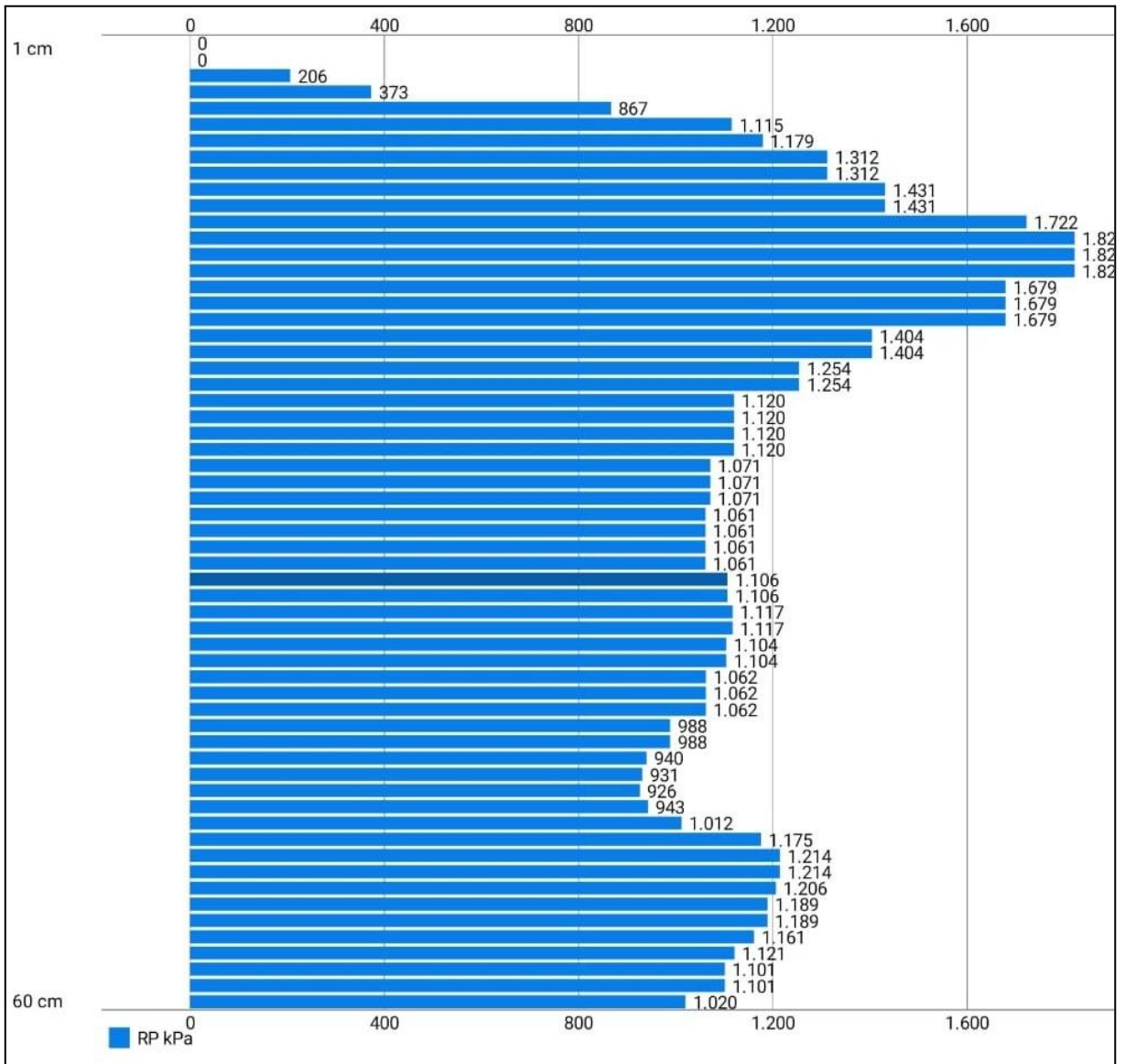
0-5	1,134	0,960	1,017	0,930	1,0
5-10	1,053	1,145	0,948	1,052	1,1
10-15	1,177	1,112	0,948	1,124	1,1
15-20	1,116	1,139	1,055	1,121	1,1
NÃO COMPACTADO					
profundidade (cm)	R1	R2	R3	R4	MÉDIA
0-5	0,826	0,839	0,839	0,860	0,8
5-10	0,995	0,985	0,942	0,969	1,0
10-15	0,928	1,010	0,980	1,056	1,0
15-20	0,903	1,015	0,841	0,952	1,0
COMPACTADO DESCOMPACTADO					
profundidade (cm)	R1	R2	R3	R4	MÉDIA
0-5	0,767	0,826	0,762	0,868	0,8
5-10	0,810	0,746	0,810	0,761	0,8
10-15	0,782	0,755	0,836	0,838	0,8
15-20	0,756	0,819	1,012	0,838	0,8
NÃO COMPACTADO DESCOMPACTADO					
profundidade (cm)	R1	R2	R3	R4	MÉDIA
0-5	0,755	1,059	0,830	0,808	0,8
5-10	0,769	0,871	0,778	0,810	0,8
10-15	0,750	0,857	0,782	0,803	0,8
15-20	0,707	0,838	0,804	0,768	0,8
Densidade do solo gramas cm³					
profundidade (cm)	C	NC	CD	NCD	
0-5	1,0	0,8	0,8	0,8	
5-10	1,1	1,0	0,8	0,8	
10-15	1,1	1,0	0,8	0,8	
15-20	1,1	0,9	0,8	0,8	

ANEXO 2 - Dados de resistência à penetração para o tratamento compactado.



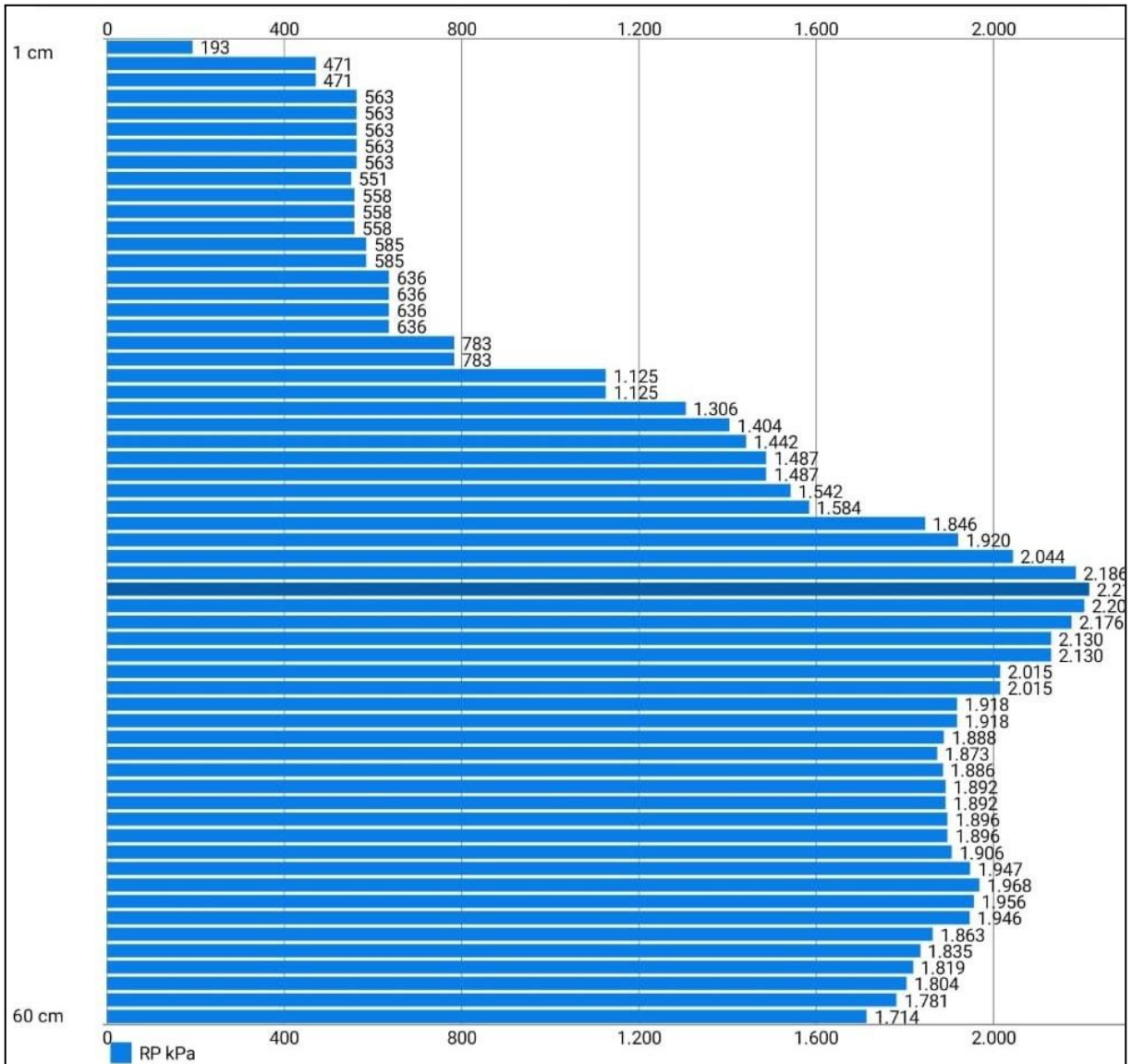
Fonte: Os autores (2023)

ANEXO 3 - Dados de resistência à penetração para o tratamento não compactado.



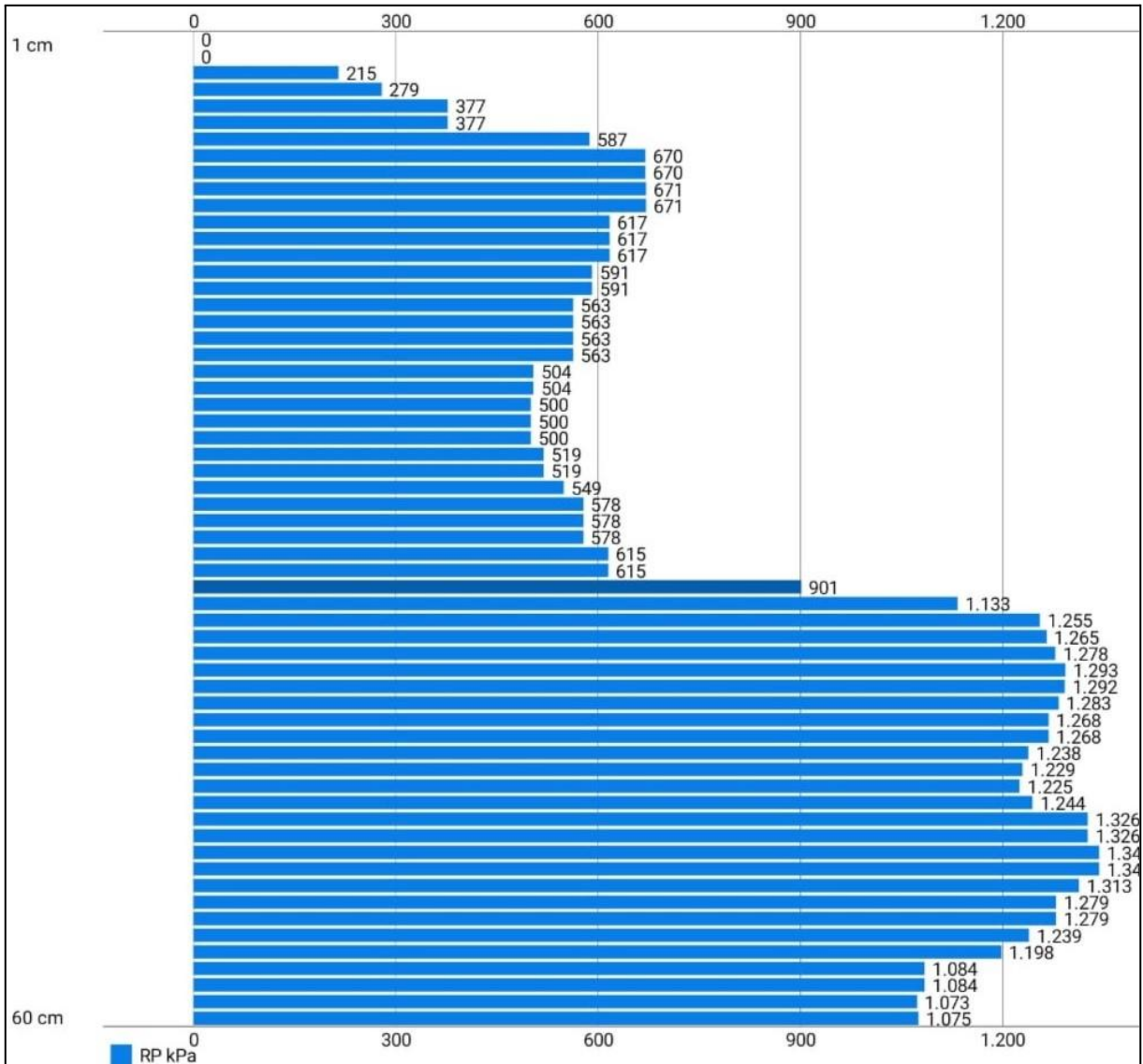
Fonte: Os autores (2023)

ANEXO 4 - Dados de resistência à penetração para o tratamento compactado subsolado.



Fonte: Os autores (2023)

ANEXO 5 - Dados de resistência à penetração para o tratamento não compactado subsolado.



Fonte: Os autores (2023)

Tabela 4 – Precipitação mensal acumulada.

Mês	Precipitação Acumulada (mm)
Nov/22	46,8
Dez/22	163,4
Jan/23	174,2
Fev/23	181,6
Mar/23	76,4
Total	642

Fonte: Epagri Ciram.