



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL
CAMPUS DE CHAPADÃO DO SUL



WELEN LORRAINE SOUZA SILVA

**DOSES E FORMAS DE INCORPORAÇÃO DE CALCÁRIO EM
UM LATOSSOLO VERMELHO DISTROFÉRICO**

CHAPADÃO DO SUL-MS

2023

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL
CAMPUS DE CHAPADÃO DO SUL

**DOSES E FORMAS DE INCORPORAÇÃO DE CALCÁRIO EM UM LA-
TOSSOLO VERMELHO DISTROFÉRICO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
à Universidade Federal de Mato Grosso do
Sul, como parte dos requisitos para obtenção
do título de Engenheiro Agrônomo.

Orientador: Prof. Dr. Cassiano Garcia Roque

Coorientador: Dr. Thadeu Rodrigues Melo

CHAPADÃO DO SUL-MS

2023



Serviço Público Federal
Ministério da Educação

Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul



CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

AUTORA: **WELEN LORRAINE SOUZA SILVA.**

ORIENTADOR: **Prof. Dr. Cassiano Garcia Roque.**

Aprovada pela Banca Examinadora como parte das exigências do Componente Curricular Não Disciplinar TCC, para obtenção do grau de BACHARELA EM AGRONOMIA, pelo curso de Bacharelado em Agronomia da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Câmpus de Chapadão do Sul.

Prof. Dr. Cassiano Garcia Roque
Presidente da Banca Examinadora e Orientador

Prof. Dr. Cid Naudi Silva Campos
Membro da Banca Examinadora

Engª. Agrª. Natielly Pereira da Silva
Membro da Banca Examinadora

Chapadão do Sul, 17 de novembro de 2023.

NOTA
MÁXIMA
NO MEC

UFMS
É 10!!!



Documento assinado eletronicamente por **Cassiano Garcia Roque, Professor do Magisterio Superior**, em 17/11/2023, às 10:53, conforme horário oficial de Mato Grosso do Sul, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).

NOTA
MÁXIMA
NO MEC

UFMS
É 10!!!



Documento assinado eletronicamente por **Cid Naudi Silva Campos, Professor do Magisterio Superior**, em 17/11/2023, às 10:54, conforme horário oficial de Mato Grosso do Sul, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).

NOTA
MÁXIMA
NO MEC

UFMS
É 10!!!



Documento assinado eletronicamente por **Natielly Pereira da Silva, Usuário Externo**, em 17/11/2023, às 11:24, conforme horário oficial de Mato Grosso do Sul, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufms.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **4467111** e o código CRC **ED95D38A**.

COORDENAÇÃO DE GESTÃO ACADÊMICA DO CÂMPUS DE CHAPADÃO DO SUL

Câmpus de Chapadão do Sul - Rod MS 306, Km 105, Caixa Postal 112

Fone:

CEP 79560-000 - Chapadão do Sul - MS

Referência: Processo nº 23455.000610/2023-65

SEI nº 4467111

Dedico

*A Deus que sempre esteve ao meu lado em todos os momentos e
aos meus familiares em especial minha mãe que me deu forças durante
todo o processo.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço inicialmente a Deus por ter me dado fé e coragem, me sustentado ao longo do curso e ter me feito forte com ensinamentos adquiridos nesse período.

Não posso deixar de agradecer minha família com todo mérito, pela força e dedicação com minhas demandas, por não permitir que eu desistisse na dificuldade.

Agradeço particularmente ao meu orientador Prof. Cassiano Garcia Roque que esteve sempre à disposição para me ajudar e atender minhas dúvidas, até mesmo em horários extremos, onde com excelência, educação e paciência me passou todo conhecimento necessário para desenvolver este trabalho.

Meus agradecimentos também para meu coorientador que se dispôs a me ajudar me oferecendo aprendizados que contribuíram não só para o desenvolvimento deste trabalho mais também para meu desenvolvimento profissional.

Agradeço também a Prof. Charline Zaratín Alves que me ajudou muito durante a realização deste trabalho com minhas dúvidas.

Por fim, não posso deixar de agradecer a mim mesma, por ter me dado a chance de acreditar que eu conseguiria, de ter ido atrás de um sonho onde todas as circunstâncias iam contra, e mesmo assim me mantive de pé.

SUMÁRIO

1.INTRODUÇÃO.....	1
2.REVISÃO DE BIBLIOGRAFIA.....	3
3.MATERIAL E MÉTODOS.....	6
3.1 Histórico da área.....	8
3.2 Delineamento experimental.....	8
3.3 Avaliações físicas do solo.....	10
3.4 Análise Estatística.....	11
4.RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	12
5.CONCLUSÕES.....	20
6.REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	21

LISTA DE FIGURAS

1. Gráfico dos valores mensais de precipitação pluviométrica, temperatura e umidade relativa do ar, ocorrida no ano agrícola de 2022 a 2023. Chapadão do Sul - MS, 2023.....	7
2. Croqui da área experimental.....	9
3. Gráfico da Densidade do solo (g/cm-3) em função das doses de calcário e modos de incorporação.....	13
4. Umidade gravimétrica em relação a doses de calcário e três níveis de incorporação no solo.....	14
5. Umidade volumétrica em relação a doses de calcário e três níveis de incorporação no solo.....	15
6. Porosidade total do solo em relação a três níveis de incorporação e doses de calcário.....	15
7. Microporosidade do solo em relação a três níveis de incorporação e doses de calcário.....	16
8. Macroporosidade do solo em relação a três níveis de incorporação e doses de calcário.....	17
9. Resistência a penetração do solo (RSP) em e relação a três níveis de incorporação e doses de calcário.....	18

LISTA DE TABELAS

1. Caracterização química (média dos talhões) e granulométrica do solo na profundidade de 0 a 0,2 m dos talhões na área experimental. Chapadão do Sul, MS, 2023.....	6
2. Tratamentos utilizados.....	8
3. Resumo da análise de variância para as profundidades de 0,0 a 0,10 e 0,10 a 0,20 m em função de doses de calcário e modos de incorporação.....	12

Doses e formas de incorporação de calcário em um latossolo vermelho distroférrico

Resumo:

A produtividade do milho pode ser afetada quando o solo apresentar compactação e alta acidez do solo, assim práticas como a calagem, incorporada ou não, podem ser benéficas para melhores produtividades. Desta forma, o objetivo foi avaliar as propriedades físicas do solo em função de doses e modo de incorporação de calcário. O delineamento experimental foi em faixas contendo aproximadamente 2.03 ha. Os tratamentos utilizados foram com quatro doses de calcário onde dose 1- (5800 kg ha⁻¹); dose 2- (9600 kg ha⁻¹); dose 3- (13400 kg ha⁻¹); e dose 4- (17400 kg ha⁻¹), essas doses foram incorporadas de três maneiras, sendo: A- (grade de 36''); B- (Arado Aiveca); e C- (subsolador). Os atributos físicos do solo avaliados foram: densidade do solo, umidade gravimétrica, umidade volumétrica, porosidade total, macroporosidade, microporosidade, resistência a penetração e argila dispersa em água. A aplicação de calcário em doses crescentes promoveu melhorias nas propriedades físicas do solo, sendo a dose de 17400 kg ha⁻¹ a que apresentou os melhores resultados para as avariáveis analisadas, exceto para a densidade do solo. O modo de incorporação de calcário com o subsolador foi efetivo nas propriedades físicas do solo.

Palavras-chave: Arado aiveca, grade, sistema de preparo do solo, subsolador, *Zea Mays*.

Doses and forms of limestone incorporation in a dystroferric red latosol

Abstract:

Corn productivity can be affected when the soil is compacted and has high soil acidity, so practices such as liming, incorporated or not, can be beneficial for better productivity. Thus, the objective was to evaluate the physical properties of the soil as a function of doses and method of limestone incorporation. The experimental design was in strips containing approximately 2.03 ha. The treatments used were four doses of limestone where dose 1- (5800 kg ha⁻¹); dose 2- (9600 kg ha⁻¹); dose 3- (13400 kg ha⁻¹); and dose 4- (17400 kg ha⁻¹), these doses were incorporated in three ways, being: A- (36" grid); B- (moldboard plow); and C- (subsoiler). The physical attributes of the soil evaluated were soil density, gravimetric moisture, volumetric moisture, total porosity, macroporosity, microporosity, resistance to penetration and clay dispersed in water. The application of lime in increasing doses promoted improvements in the physical properties of the soil, with the dose of 17400 kg ha⁻¹ being the one that presented the best results for the variables analyzed, except for soil density. The method of incorporating limestone with the subsoiler was effective on the physical properties of the soil.

Palavras-chave: Moldboard plow, harrow, soil preparation system, subsoiler, *Zea Mays*.

1. INTRODUÇÃO

O milho (*Zea Mays L.*) é o cereal mais amplamente cultivado em todo o mundo, desempenhando um papel crucial na agricultura brasileira. O Brasil, atualmente o terceiro maior produtor global de milho, investe em pesquisas para aprimorar o cultivo, visando aumentar a produtividade de forma sustentável. Na safra 2021/2022, o país alcançou uma produção de 113.130,4 mil toneladas em uma área de 21.580,6 mil hectares, de acordo com dados da Conab, (2023).

A calagem é uma das práticas que está relacionada com a produtividade da cultura. Considerado como uma etapa de preparo de solo rotineira nas lavouras brasileiras, seus efeitos estão relacionados ao aumento do pH, aos níveis trocáveis de cálcio e magnésio, nutrientes importantes para o desenvolvimento do milho, à capacidade de troca de cátions, e à diminuição do alumínio tóxico para as plantas (Carmo e Silva, 2016).

O calcário pode ser aplicado de diversas maneiras no solo, tanto em sistemas de plantio direto quanto em sistemas convencionais. Conforme o estudo de Caires et al., (2003), a aplicação de calcário na superfície corrigiu a acidez e melhorou os atributos químicos ao longo do tempo, criando uma zona alcalina descendente que reduz a acidificação em áreas críticas. No contexto do preparo convencional do solo, observa-se uma aceleração notável da degradação da matéria orgânica, em decorrência da desintegração dos agregados presentes na camada preparada. Simultaneamente, ocorre um incremento na porosidade, na permeabilidade e na capacidade de retenção de ar, criando condições propícias para o desenvolvimento das raízes vegetais (Nunes et al., 2020).

A incorporação do escarificador no contexto do sistema de plantio direto engendra vantagens substanciais nos atributos físicos do solo, abrangendo uma gama de melhorias, tais como o aprimoramento da taxa de infiltração da água, a redução da resistência mecânica à penetração, a otimização da densidade do solo, a ampliação do intervalo hídrico ideal, o incremento da porosidade total, entre outros, sem que se manifestem impactos de magnitude significativa nos atributos biológicos subjacentes ao sistema de plantio direto (Rosa, 2016). A conjugação de operações, como a escarificação combinada com o destorroamento/nivelamento e a aplicação de corretivos, emerge como uma alternativa para mitigar a compactação do solo e promover a incorporação mais profunda do calcário. Como resultado, isso reduz a densidade

e a resistência mecânica do solo à penetração das raízes das plantas, criando um ambiente propício para o desenvolvimento das plantas, sem restrições físicas ou químicas (Vieira, 2011).

A grade armadora é um tipo de grade que é utilizada para o preparo primário do solo. Ela é composta por um conjunto de elementos metálicos que são fixados a um chassi. Esses elementos são projetados para cortar o solo e invertê-lo, de modo a criar uma camada superficial mais solta e arejada (Teixeira e Teixeira, 2022).

A aração profunda pode auxiliar na incorporação dos corretivos e melhorar o ambiente para o crescimento das raízes. Por isso, o preparo do solo com arado de aiveca, que consegue revolver o solo a profundidades até 40 a 45 centímetros, pode promover ganhos em produtividade. Esse preparo profundo, além de romper camadas compactadas, pode, também, auxiliar no controle de pragas do solo (Dias e Rossetto, 2022).

A subsolagem, promove a ruptura de camadas compactadas ou adensadas (Abu-Hamdeh, 2003; Botta *et al.*, 2006; Nicoloso *et al.*, 2008), facilitando a penetração das raízes das culturas, além da infiltração da água para camadas mais profundas do solo. Contudo, a geometria da ponteira subsoladora possui influência direta no formato de ruptura do solo e ainda pode gerar compactação abaixo da profundidade de trabalho.

A compactação do solo não somente detém obstáculos no desenvolvimento das raízes devido a barreiras mecânicas, mas também interfere negativamente em uma série de processos essenciais, como a aeração, a condutividade de ar, água e calor, a infiltração e redistribuição da água, bem como processos químicos. A detecção de camadas compactadas no solo se dá mediante a avaliação da resistência à penetração, tanto em relação às raízes quanto às ferramentas de cultivo. Esse procedimento proporciona informações de relevância significativa na identificação de condições que potencialmente limitam o crescimento das raízes das plantas (Gomes Junior *et al.*, 2023).

Um fator limitante de grande relevância para a produtividade das culturas de grãos é a compactação do solo. Além de outros fatores, a aplicação de calagem em diferentes doses demonstra a capacidade de promover a dispersão de argilas, instigando um processo acelerado de desagregação de partículas e, por conseguinte, contribuindo para a mitigação da formação de camadas compactadas. A neutralização do íon de alumínio trocável, um elemento que desempenha um papel preponderante na estabilização da estrutura do solo, juntamente com a elevação do pH do solo, emerge como estratégias com propriedades dispersantes, notadamente eficazes em solos caracterizados por um pH inferior a 7,0 (Silva *et al.*, 2022).

A hipótese para a realização deste trabalho são as doses de calcário e os métodos de incorporação podem influenciar positivamente as propriedades físicas do solo. Assim o objetivo do estudo foi avaliar propriedades físicas do solo em função das doses e modos de incorporação de calcário na cultura do milho.

2. REVISÃO DE BIBLIOGRÁFICA

Entre as tecnologias aplicadas na cultura do milho, destaca-se o sistema de plantio direto (SPD), que tem como objetivo principal a redução dos custos de produção. Este sistema está diretamente relacionado à necessidade de aprimorar a qualidade do solo e promover uma produção sustentável (Albuquerque *et al.*, 2013). O SPD é caracterizado por envolver uma semeadura em solo minimamente revolvido, a prática de rotação de culturas e a manutenção da cobertura de palha na superfície do solo (Pereira *et al.*, 2009).

Nesse sistema, as sementes são colocadas em sulcos, com largura e profundidade adequadas para permitir um contato adequado com o solo. Isso implica o revolvimento do solo apenas ao longo da linha de plantio ou na cova. Esse conceito visa integração do sistema, que combina práticas culturais e biológicas com o objetivo de manter a cobertura vegetal sobre o solo e limitar o revolvimento do solo somente nos sulcos de semeadura. Essa abordagem traz benefícios significativos, como controle da erosão, manejo de plantas daninhas, e redução das variações térmicas e hídricas no solo (Favarato, 2015).

As práticas de manejo na agricultura têm um impacto significativo nas condições físicas do solo, afetando fatores como a disponibilidade de água, a aeração e a resistência ao crescimento das raízes. Esses fatores estão diretamente relacionados ao crescimento das plantas e à produtividade de grãos, como apontado por (Novaes e Mello, 2007). Notavelmente, os solos submetidos à semeadura direta sob a palha apresentam características físicas distintas em comparação com os solos que passam por preparo convencional (Weirich Neto *et al.*, 2012)

No sistema de semeadura direta, a correção da acidez do solo é efetuada através da aplicação de calcário na superfície, sem necessidade de incorporação. A aplicação de calcário demonstra ser viável e resulta em um aumento na produção de grãos de milho neste sistema de cultivo (Rissi *et al.*, 2004). A calagem é uma técnica recomendada para ajustar o pH do solo, neutralizar o alumínio trocável e fornecer cálcio (Ca) e magnésio (Mg) às plantas. Isso resulta

em um melhor desenvolvimento das raízes e aumentos na produtividade da cultura (Carvalho, 2021).

Outro aspecto fundamental na prática da calagem é o método de incorporação, que pode ter efeitos diversos na profundidade da reação do calcário e nas culturas.

Além de determinar os níveis de acidez, o objetivo é investigar o impacto da calagem nos atributos de fertilidade do solo, como fósforo, potássio, cálcio, magnésio, alumínio e matéria orgânica, bem como seu efeito nas respostas das plantas a esses atributos. Isso visa estabelecer a dose de calagem e o método de incorporação mais apropriados para a região (Amorim *et al.*, 2011). A incorporação do calcário tem o potencial de neutralizar a acidez do solo em camadas mais profundas, promovendo um maior desenvolvimento das raízes e, consequentemente, aumentando a produtividade das culturas (Amorim *et al.*, 2011).

No sistema de plantio direto, a incorporação do calcário no solo pode ser realizada de diversas maneiras, visando corrigir a acidez e fornecer nutrientes essenciais para as plantas. Alguns métodos de incorporação de calcário no plantio direto incluem a aplicação superficial, incorporação mecânica, ou equipamentos especiais. A aplicação superficial, é uma técnica amplamente adotada no plantio direto, na qual o calcário é disperso na superfície do solo, seja antes ou após a semeadura. Com o passar do tempo, a ação da chuva e a atividade biológica auxiliam na incorporação do calcário em camadas mais profundas.

Na incorporação mecânica, de acordo com as descobertas de Kaminski *et al.*, (2007), quando se realiza a calagem com a incorporação no preparo do solo usando arado e grade, o calcário se mistura de forma natural com o solo em uma camada onde as raízes das culturas se concentram. Esses autores também observam que, em solos sob sistema de plantio direto que apresentam acidez acentuada em camadas mais profundas, seria aconselhável corrigir a camada arável (0,00 - 0,20 m) com incorporação e reiniciar o sistema de plantio direto. Na utilização de equipamentos especiais, são projetados para a aplicação de calcário no plantio direto, como as plantadoras-adubadoras, que aplicam o calcário diretamente na linha de semeadura, proporcionando uma incorporação parcial (Klein *et al.*, 2007).

A intensidade da preparação do solo pode levar a alterações, em algumas delas, situações indesejadas. Como, a compactação do solo pode ocorrer, resultando em um aumento da resistência à penetração das raízes, limitando a permeabilidade e a disponibilidade de nutrientes, o que, por sua vez, restringe o crescimento e desenvolvimento das plantas. Além disso, a

compactação do solo pode resultar em um aumento da densidade, diminuindo consequentemente a porosidade total e o tamanho dos poros (Olszewski *et al.*, 2004).

A porosidade total (Pt), que se refere ao espaço não ocupado por sólidos, mas sim por água e ar, desempenha um papel essencial no comportamento físico-hídrico do solo. Ela influencia aspectos como a aeração, a condução e a retenção de água, bem como a penetração das raízes das plantas. Portanto, a porosidade total tem um impacto significativo na capacidade de aproveitamento dos nutrientes disponíveis pelo solo e influência na densidade do solo (Pereira *et al.*, 2013).

A densidade do solo, que representa a relação entre a massa de solo seco e o seu volume, considerando o espaço poroso, está intrinsecamente relacionada à estrutura do solo. O manejo inadequado do solo pode resultar na perda dessa estrutura, levando à compactação, o que, por sua vez, modifica a distribuição dos poros na matriz do solo. Isso ocorre porque a porosidade é inversamente proporcional à densidade, o que significa que um aumento na densidade do solo pode levar a valores elevados desse índice, como observado por (Tormena *et al.*, em 2002).

Além dessas modificações das propriedades físicas do solo, como mencionado anteriormente. Tormena *et al.*, (2002), explica que a resistência do solo à penetração é uma das propriedades físicas do solo que tem uma relação direta com o crescimento das plantas. Essa resistência é modificada pelos diferentes métodos de preparo do solo. O crescimento das raízes pode levar à compressão do solo na área próxima à ponta das raízes, e a pressão exercida contra as partículas e/ou agregados do solo deve ser adequada para permitir a penetração e o alongamento das raízes.

A dispersão das partículas argilosas no solo pode ser influenciada tanto pelo manejo adotado quanto pelo tipo de insumo utilizado. A utilização de fertilizantes químicos com alta concentração de cátions monovalentes tende a promover maior dispersão, devido à menor força eletrostática de atração entre as partículas do solo e ao aumento da distância entre elas, como explicado por (Tavares Filho, 2013). Por outro lado, diferentes práticas de manejo e o cultivo de diversas culturas podem contribuir para o acúmulo de material orgânico no solo, o que, por sua vez, pode favorecer uma melhor estruturação do solo e maior floculação das partículas argilosas, conforme observado por (Mota *et al.*, 2012).

3. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no município de Chapadão do Céu-GO, na Fazenda Alvorada, cujas coordenadas são 10°30'102.49''S e 52°43'11,20''O, altitude de 820 m. O clima da região classificação do clima é Aw segundo a Köppen e Geiger, tropical com inverno seco. Chapadão do Céu tem uma temperatura média de 22.8 °C.

Na Figura 1 são apresentadas as precipitações pluviométricas no primeiro e segundo ciclo de cultivo. Os meses mais chuvosos formam os meses de janeiro, março e abril, com uma pluviosidade média de aproximadamente de 350 mm, onde o período inicial de desenvolvimento da planta coincide com uma necessidade elevada de chuva, levando em consideração que a quantidade consumida pela planta e de 600 mm durante todo seu ciclo (Lagoas, 2006). Os meses de julho e agosto com uma menor quantidade de pluviosidade. A maior temperatura (25,4 °C) ocorreu no final do mês de outubro de 2022 e a menor (14,4 °C) no início do mês de novembro de 2022. O solo na região foi classificado como Latossolo Vermelho distroférrico, textura argilosa (Santos *et al.*, 2018). Na Tabela 1 encontra-se a análise química representada da área experimental.

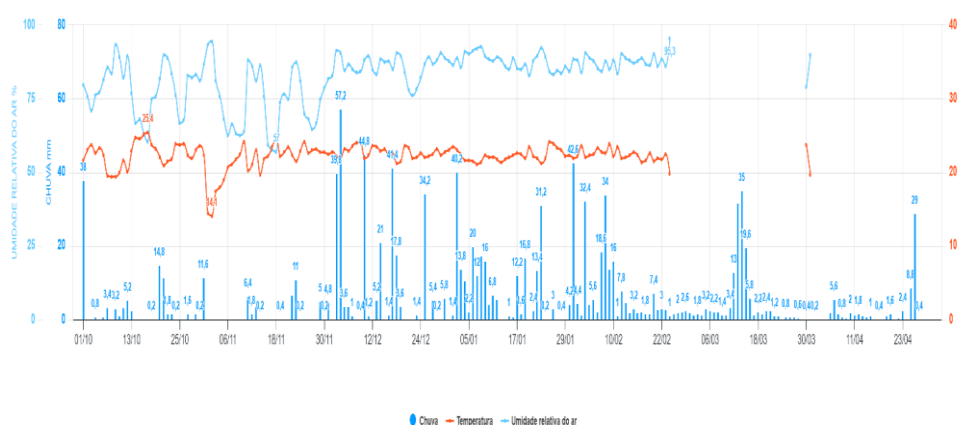


Figura 1: Gráfico dos valores mensais de precipitação pluviométrica, temperatura e umidade relativa do ar, ocorrida no ano agrícola de 2022 a 2023. Chapadão do Sul - MS, 2023.

Tabela 1. Caracterização química (média dos talhões) e granulométrica do solo na profundidade de 0 a 0,2 m dos talhões na área experimental. Chapadão do Sul, MS, 2023.

Prof (m)	MO g dm ⁻³	pH CaCl ₂	Pres mg dm ⁻³	Ca	Mg	K	Al	H+Al cmol _c dm ⁻³	SB	CTCe	CTC
0-0,20	34,39	5,37	36,03	3,91	1,30	0,35	0,06	4,14	5,56	5,62	9,70
	V	m	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn	Argila	Silte	Areia
	----- % -----				----- mg dm ⁻³ -----				----- % -----		
0-0,20	57,31	0,62	323,60	0,53	0,80	65,92	11,45	3,98	55	12,5	32,5

MO: Na₂Cr₂O₇; pH: CaCl₂; P: Resina; Ca, Mg, Al: KCl; H+Al: SMP; S: NH₄CH₃CO₂; B: H₂O quente; K, Cu, Fe, Mn e Zn: Mehlich.

3.1 Histórico da Área

Este experimento vem sendo conduzido desde setembro de 2021 onde busca a melhor dose e a melhor forma de incorporação para o plantio de culturas anuais. A cultura antecessora foi a soja, cultivar Aporé. Onde o plantio foi realizado 25/10/2022 com 11 sementes por metro e a colheita 26/02/2023. A semeadura do milho ocorreu no dia 08/03/2023 mecanicamente, utilizando a cultivar DKB360, com distribuição de 2,5 semente por metro e 0,45 metro de espaçamento entre linhas. Juntamente com a semeadura foi realizada a adubação de base com 30 kg ha⁻¹ de NPK na formulação (10-46-00), a adubação de cobertura com KCL 100 kg ha⁻¹ na formulação (00-00-60) e adubação de cobertura com N 240 kg ha⁻¹ na formulação (46-00-00).

3.2 Delineamento experimental e Tratamentos

O delineamento experimental foi instalado em faixas e avaliado em blocos casualizados, sendo que o comprimento das faixas foi de 1.500 m e a largura de 13,5 m, totalizando 2,03 ha cada faixa. Os tratamentos consistiram em doses de calcário sendo: 1- (5800 kg ha⁻¹); 2- (9600 kg ha⁻¹); 3- (13400 kg ha⁻¹); e 4 – (17400 kg ha⁻¹), essas doses foram incorporadas de três diferentes maneiras, sendo: A- Grade de 36”; B- Arado Aiveca; e C- subsolador. Os tratamentos estão descritos na Tabela 2.

O calcário utilizado no experimento foi o dolomítico com 18% de MgO e 30% CaO e PRNT 85% e este foi aplicado a lanço. O croqui da área experimental encontra-se na Figura 2.

Tabela 2. Tratamentos realizados.

T1-	Grade de 36" e 5800 kg ha ⁻¹ de calcário.
T2-	Arado Aiveca e 5800 kg ha ⁻¹ de calcário.
T3-	Subsolador e 5800 kg ha ⁻¹ de calcário.
T4-	Grade de 36" e 9600 kg ha ⁻¹ de calcário.
T5-	Arado Aiveca e 9600 kg ha ⁻¹ de calcário.
T6-	Subsolador e 9600 kg ha ⁻¹ de calcário.
T7-	Grade de 36" e 13400 kg ha ⁻¹ de calcário.
T8-	Arado Aiveca e 13400 kg ha ⁻¹ de calcário.
T9-	Subsolador e 13400 kg ha ⁻¹ de calcário.
T10-	Grade de 36" e 17400 kg ha ⁻¹ de calcário.
T11-	Arado Aiveca e 17400 kg ha ⁻¹ de calcário.
T12-	Subsolador e 17400 kg ha ⁻¹ de calcário.

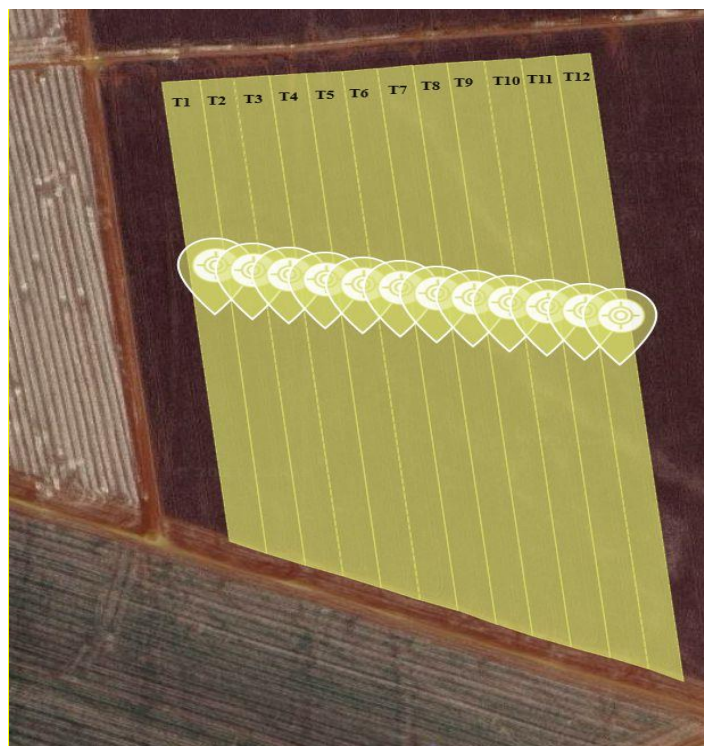


Figura 2. Croqui da área experimental.

3.3 Avaliações físicas do solo

Os atributos físicos do solo analisados foram: a densidade do solo (DS), porosidade total (PT), macroporosidade (MA), microporosidade (MI), resistência a penetração (RP), umidade gravimétrica (UG) e umidade volumétrica (UV).

Para a coleta das amostras físicas do solo foram abertas trincheiras, com dimensões de 0,50 m de largura por 0,50 m de comprimento e com 0,40 m de profundidade, sendo as amostras coletadas nas profundidades de 0 – 0,10, 0,10 – 0,20 m.

A densidade do solo (DS), foi calculada pelo método do anel volumétrico e a porosidade total (PT) foi calculada conforme a Equação apresentada pela Teixeira *et al.*, (2017).

$$P_t = \frac{[(a - b) - (c - d)]}{e}$$

Onde:

Pt – Porosidade total, em m³ m⁻³.

a – Massa do conjunto amostra-cilindro-tecido-liga saturado, em kg.

b – Massa do conjunto amostra-cilindro-tecido-liga seco a 105 °C, em kg.

c – Massa do conjunto cilindro-tecido-liga saturado, em kg.

d – Massa do conjunto cilindro-tecido-liga seco a 105 °C, em kg.

e – Volume total da amostra, em m³. Nesse caso, assume-se que o volume total da amostra é igual ao volume do cilindro.

A microporosidade foi obtida através do método da mesa de tensão onde as amostras foram colocadas a 0,60 m de coluna de água e a macroporosidade foi obtida através do cálculo de diferença entre a microporosidade e a porosidade total (Claesse, *et al.*, 1997).

A avaliação da resistência a penetração (RP) foi feita com o equipamento penetrômetro eletrônico digital (PenetroLOG), foi operado de forma manual se baseando na força colocada pelo operador, esse aparelho indica a profundidade da penetração da haste e consta o cálculo da velocidade de penetração, além de avisar ao usuário se a velocidade está fora do padrão (Molin, 2012).

As leituras foram realizadas na data de 15/05/2023 sendo coletados três pontos em cada tratamento e em suas repetições, e posteriormente foram coletadas amostras deformadas de solo para determinação da umidade gravimétrica (UG), com auxílio de um trado holandês. Após foram levadas para o laboratório de solos da UFMS onde se realizou a pesagem de cada amostra para obtenção do peso úmido. Em seguida para uma estufa de circulação forçada de ar a 105 °C, até peso constante, e pesadas após o resfriamento em dessecador. Os resultados são calculados pela conforme a seguinte equação (Candido, 2020).

$$U = \frac{m_a}{m_s}$$

Onde:

U= Umidade gravimétrica

m_a= massa de água

m_s= massa de solo seco

A umidade volumétrica é caracterizada como o volume de água integrado em um determinado volume de solo e foi calculada após a obtenção da UG sendo utilizada a equação.

$$\theta = U \cdot d_s$$

Onde:

θ= Umidade volumétrica

U= Umidade gravimétrica

D_s= Densidade do solo

3.4 Análise Estatística

Os dados foram submetidos a análise de variância, e analisados por blocos casualizados seguido da comparação das médias dos níveis da profundidade e das incorporações pelo teste de Tukey ($P \leq 0,05$), e análise de regressão polinomial para as doses de calcário, utilizando-se o software Sisvar (Ferreira *et al.*, 2019).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise da variância apresentou que as variáveis Densidade do Solo (DS), Umidade gravimétrica (UG), Umidade volumétrica (UV), Porosidade total (PT), Microporosidade (MICRO) e Macroporosidade (MACRO) foram significativas para doses e incorporação (Tabela 3). Já a interação entre doses e incorporação foi significativa para DS, PT, MICRO e MACRO.

Tabela 3. Resumo da análise de variância para as profundidades de 0,0 a 0,10 e 0,10 a 0,20 m em função de doses de calcário e modos de incorporação.

FV	GL	DS	UG	UV	PT	MICRO	MACRO
Bloco	2	0,006*	25185,9*	382,7*	0,032*	0,029*	0,01*
Doses (D)	3	0,0696*	487977,0*	23043,8*	2,454*	2,452*	0,736*
Incorp.(I)	2	0,0636*	49906,8*	4047,4*	0,299*	0,279*	0,093*
Prof. (P)	1	0,0054 ^{ns}	345,9 ^{ns}	145,4 ^{ns}	0,002 ^{ns}	0,003 ^{ns}	0,000 ^{ns}
D x I	6	0,0565*	10001,8 ^{ns}	343,1 ^{ns}	0,015*	0,016*	0,010*
D x P	3	0,0035 ^{ns}	478,1 ^{ns}	177,8 ^{ns}	0,002 ^{ns}	0,005 ^{ns}	0,001 ^{ns}
I x P	2	0,0000 ^{ns}	2395,1 ^{ns}	43,0 ^{ns}	0,003 ^{ns}	0,005 ^{ns}	0,000 ^{ns}
D x I x P	6	0,0032 ^{ns}	2633,1 ^{ns}	278,8 ^{ns}	0,004 ^{ns}	0,005 ^{ns}	0,002 ^{ns}
Erro	46	0,0060	6616,2	173,5	0,005	0,004	0,003
CV (%)		6,16	43,89	15,16	7,42	7,64	11,29
Média		1,26	185,33	86,92	0,97	0,91	0,51

^{ns} e *: não significativo e significativo a 5% de probabilidade pelo teste F, respectivamente; FV: fontes de variação; GL: graus de liberdade; CV: coeficiente de variação.

A densidade do solo foi influenciada pelos métodos de incorporação estudados. A Figura 3 apresenta a interação entre a densidade do solo e incorporação das doses de calcário. Nas doses de 5800 e 17400 kg ha⁻¹ de calcário o subsolador apresentou melhores resultados, diferindo estatisticamente da Grade de 36'' e a Aiveca. Na dose de 9600 kg ha⁻¹ de calcário a Aiveca e o Subsolador apresentaram melhores resultados, mas não diferiu da Grade de 36''. E na dose de 13400 kg ha⁻¹ de calcário o subsolador apresentou o melhor resultado, diferindo estatisticamente da Grade de 36'' mas não diferindo estatisticamente da Aiveca.

Em solos argilosos Reinert e Reichert, (2006) obtiveram valores de densidade do solo, de 0,9 a 1,7 g cm⁻³. Sendo assim, os valores deste experimento estão dentro dos citados na literatura, que prega valores entre 0,8 e 2,0 g cm⁻³. (Daniels; Hammer, 1992; Guerra, 1995; Botelho, 1996).

Resultados de densidade do solo obtidos por Bortoluzzi, E. C. *et al.*, (2008) na camada de 0,0-0,5 m não variaram significativamente de acordo com as doses e formas de aplicação do calcário. O aumento na densidade do solo em função do incremento da dose de calcário aplicado nos tratamentos pode ser considerado indicativos de alterações estruturais por conta de eventual efeito do calcário na compactação de solo (Jucksch, 1987).

Como apontado Reinert & Reichert, (2006) quanto maiores forem os valores de densidade do solo, mais compactado o solo será e consequentemente menor será a capacidade de infiltração deste, o que é inversamente proporcional à porosidade. Neste sentido, áreas com alta densidade do solo, possuem baixa porosidade, menor capacidade de infiltração e maior concentração no escoamento superficial, sendo o inverso também verdadeiro.

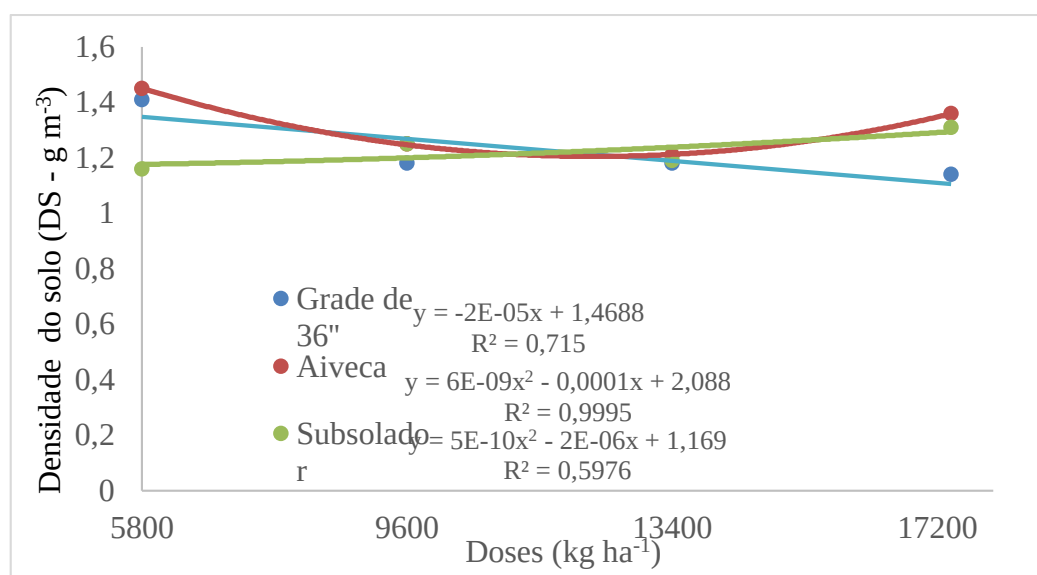


Figura 3. Gráfico da Densidade do solo (g/cm³) em função das doses de calcário e modos de incorporação.

A umidade gravimétrica em relação as doses demonstram que conforme se aumenta a dose de calcário, há aumento na umidade do solo (Figura 4). Bortoluzzi, E. C. *et al.*, (2008)

encontrou um aumento de 90% na umidade gravimétrica no acréscimo das doses de calcário. kg ha^{-1} . Na dose de 13400 kg ha^{-1} de calcário o Subsolador e Aiveca apresentaram melhor resultado em relação a Grade de $36''$. Já, em relação a dose de 17400 kg ha^{-1} de calcário não foi observada diferença estatística entre os níveis de incorporação. Conforme Fernandes *et al.*, (2021), o aumento da umidade gravimétrica do solo com a calagem é devido ao aumento da capacidade de retenção de água do solo.

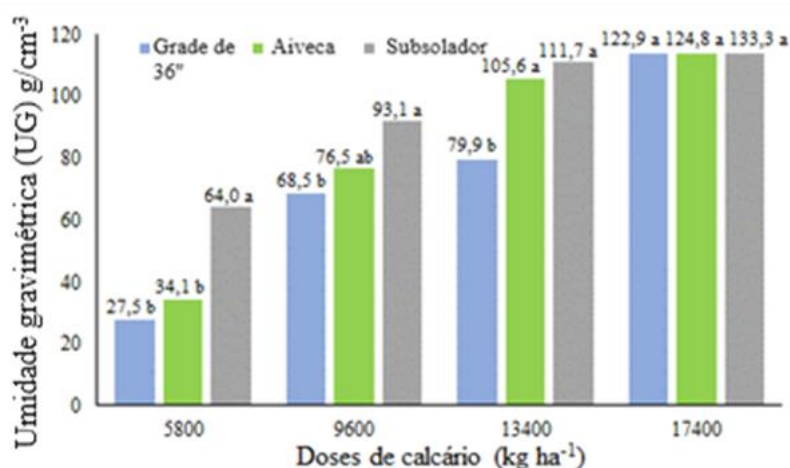


Figura 4. Umidade gravimétrica em relação a doses de calcário e três níveis de incorporação no solo.

A Figura 5 apresenta a relação entre umidade volumétrica e as variáveis doses de calcário e níveis de incorporação. Observa-se que as doses 5800 kg ha^{-1} de calcário, 9600 kg ha^{-1} de calcário e 13400 kg ha^{-1} de calcário elevam a umidade volumétrica do solo conforme as doses são aumentadas. Já na dose de 17400 kg ha^{-1} de calcário, o Subsolador apresenta o melhor resultado para umidade volumétrica, diferindo dos demais.

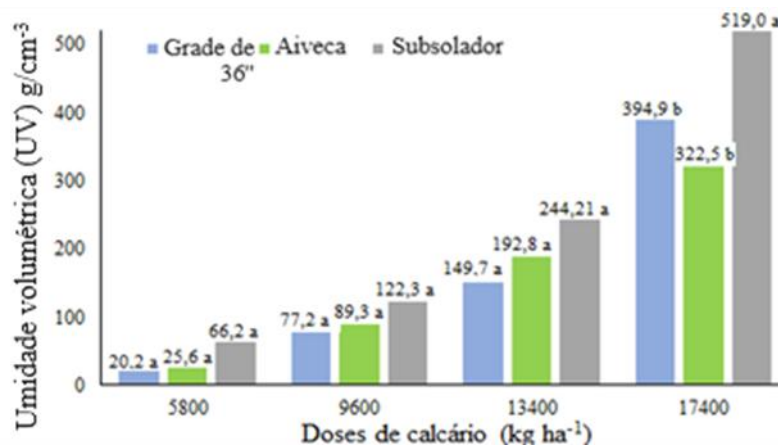


Figura 5. Umidade volumétrica em relação a doses de calcário e três níveis de incorporação no solo.

A Figura 6 apresenta a interação entre a porosidade total do solo e incorporação das doses de calcário. Nas doses de 5800 kg ha⁻¹ de calcário e 9600 kg ha⁻¹ de calcário o Subsolador apresentaram melhores resultados. Nas doses de 13400 kg ha⁻¹ e 17400 kg ha⁻¹ a Aiveca e o Subsolador apresentaram melhores resultados quando comparadas a Grade de 36'' para essa variável. A porosidade total do solo é a soma dos macroporos e microporos, de forma que o aumento de um reduzirá a porcentagem do outro (Wendling *et al.*, 2012).

O efeito do preparo sobre os valores de porosidade do solo pode ser pouco evidente, sendo mais comuns os efeitos na forma e distribuição dos poros ao longo do perfil do solo (Schaefer *et al.*, 2001).

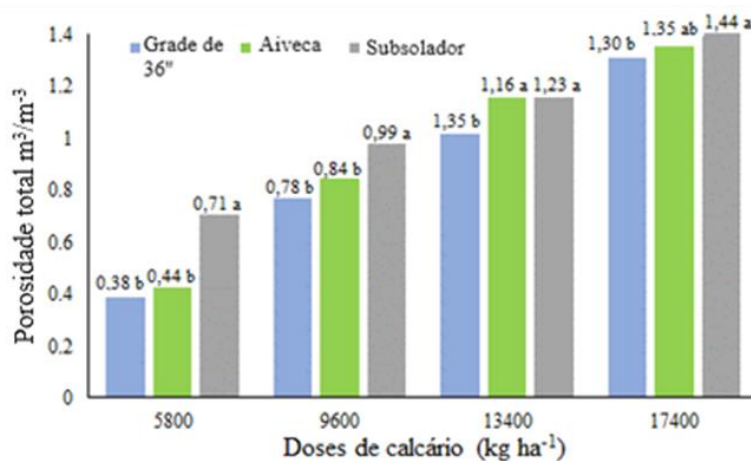


Figura 6. Porosidade total do solo em relação a três níveis de incorporação e doses de calcário.

A interação entre a microporosidade solo e incorporação das doses de calcário demonstra que para as doses 5800 e 9600 kg ha⁻¹ o Subsolador apresentaram melhores resultados (Figura 7). A literatura indica que o solo ideal, é aquele que apresente valores de 0,06 a 0,16 m³ para macroporosidade, e até 0,33 m³ m⁻³ para microporosidade e aproximadamente 0,50 m³ para porosidade total do solo (Ribeiro *et al.*, 2007).

Nas doses de 13400 e 17400 kg ha⁻¹ as Aiveca e Subsolador apresentou melhor resultado em relação às microporosidade do solo. Paulo, (2019) não encontrou interação significativa na aplicação de calcário na porosidade total de macroporosidade e microporosidade do milho e da soja.

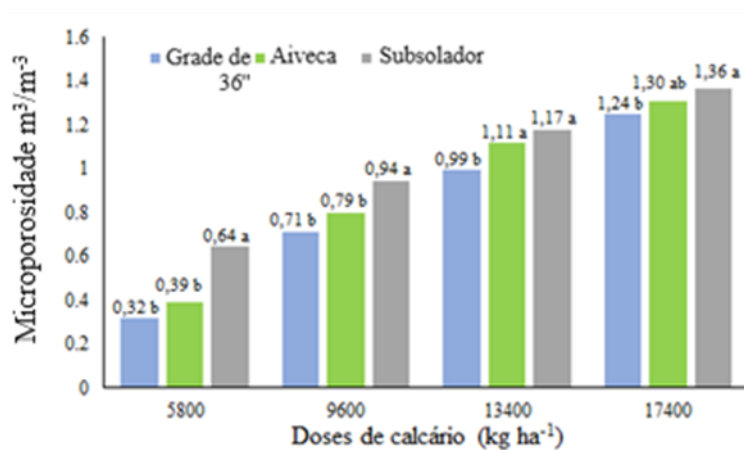


Figura 7. Microporosidades do solo em relação a três níveis de incorporação e doses de calcário

Nas doses de 13400 kg ha⁻¹ e 9600 kg ha⁻¹ o Subsolador apresentou melhores resultados quando comparados a Grade de 36'' e Aiveca para macroporosidade (Figura 8). A dose de 13400 kg ha⁻¹ apresentou melhor resultado na Subsolador, diferindo da Aiveca e da Grade de 36''. Não houve diferença estatística entre as incorporações para a dose de 17400 kg ha⁻¹. Nogueira et al. (2016) encontrou que a porosidade total ($p < 0,01$), macroporosidade ($p < 0,05$) e a microporosidade ($p < 0,01$) do solo foram influenciadas significativamente pela interação, forma de manejo do solo e aplicação de calcário e gesso agrícola na profundidade de 0,10-0,20 m de solo.

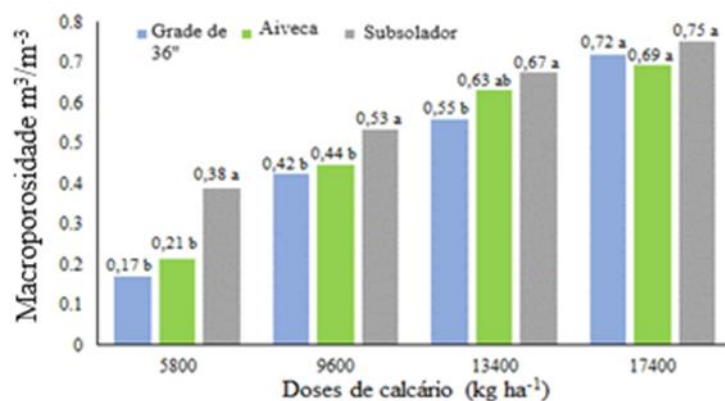


Figura 8. Macroporosidade do solo em relação a três níveis de incorporação e doses de calcário.

De acordo com Torres & Saraiva (1999), solos argilosos e em condições naturais, apresentam macroporosidade, em torno de 0,15 a 0,25 m³ m⁻³, assim os valores de macroporosidade estão elevados o que evidencia Kiehl. (1979) e Troeh & Thompson (2007), que relata que solos argilosos e franco-argilosos geralmente têm alto espaço poroso total e armazenam grandes quantidades de água.

Na Figura 9 estão apresentados os valores de resistência a penetração. A camada menos compactada verificada foi a de 0,10 m o tratamento T3 -Subsolador e 5800 kg ha⁻¹ de calcário.

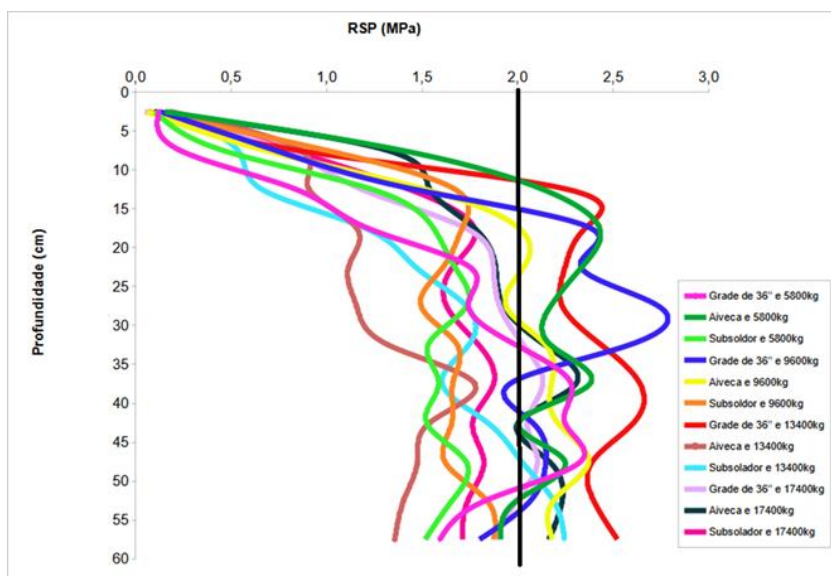


Figura 9. Resistência a penetração do solo (RSP) em e relação a três níveis de incorporação e doses de calcário.

O tratamento com o solo mais compactado foi o (T4- Grade de 36'' e 9600 kg ha⁻¹), com valor de resistência a penetração com 2,8 (MPa) aproximadamente, com uma compactação entre as camadas 15-55 cm e apresentando um valor maior de resistência a penetração na camada de 0,30 m. Entretanto, Tavares Filho *et al.*, (2001) demonstraram que valores de resistência superiores a 3,5 MPa não restringiram o desenvolvimento radicular e a produtividade de grãos do milho, influenciando apenas em sua morfologia.

Como observado por Gavande, (1982) o incremento do grau de compactação de um solo pode ser caracterizado pelo aumento no valor de densidade do solo e uma redução da porosidade total, com aumento na proporção de poros menores em detrimento dos maiores.

A redução da dose de calcário aplicada em superfície, no sistema plantio direto, já referendada por estudos anteriores (Jucksch, 1987; Pavan & Roth, 1992; Denardin *et al.*, 2001), porém, poderá resultar em benefício à estrutura do solo, prevenindo ou minimizando a formação de compactação.

Os tratamentos (T4- Grade de 36'' e 9600 kg ha⁻¹), (T7- Grade de 36'' e 13400 kg ha⁻¹), (T5- Aiveca e 5800 kg ha⁻¹), (T1- Aiveca e 9600 kg ha⁻¹), (T11- Aiveca e 17400 kg ha⁻¹), (T10- Grade de 36'' e 17400 kg ha⁻¹) e (T9- Subsolador e 13400 kg ha⁻¹) se encontram compactados com valor de resistência a penetração superior a 2 MPa conforme Figura 9. O tratamento com o solo mais compactado foi o (T4- Grade de 36'' e 9600 kg ha⁻¹) com valor de resistência a penetração com 2,8 (MPa) aproximadamente, com uma compactação entre as camadas 15-55 cm e apresentando um valor maior de resistência a penetração na camada de 0,30 m.

Na Figura 9 estão apresentados os valores referentes a leitura de resistência a penetração que foi mensurada em campo. Os valores mais elevados de RP em relação aos tratamentos foram encontrados na camada de 0,10-0,40 m ficando com valor de 2,5 MPa, superior aos valores recomendados.

Observa-se que a partir da profundidade de 0,10 m existem tratamentos que o solo pode estar compactado por apresentarem valores superiores a 2,0 Mpa, conforme Arshad *et al.*, (1996), os valores de resistência mecânica à penetração, variando de 2,0 a 4,0 MPa, podem restringir ou mesmo impedir o crescimento e o desenvolvimento das raízes. Assim verifica-se que os tratamentos (T2- Aiveca e 5800 kg ha⁻¹), (T7- Grade de 36'' e 13400 kg ha⁻¹), (T4- Grade de 36'' e 9600 kg ha⁻¹) apresentam compactação na profundidade de 0,10 m. Os tratamentos (T5- Aiveca e 5800 kg ha⁻¹), (T10- Grade de 36'' e 17400 kg ha⁻¹), (T11- Aiveca e

17400 kg ha⁻¹), (T12- Subsolador e 17400 kg ha⁻¹) apresentam compactação abaixo da profundidade de 0,30 m. Já para os tratamentos restantes apresentaram valores abaixo do limite recomendado.

5. CONCLUSÃO

A aplicação de calcário em doses crescentes promoveu melhorias nas propriedades físicas do solo, sendo a dose de 17400 kg ha⁻¹ a que apresentou os melhores resultados para as avariáveis analisadas, exceto para a densidade do solo. O modo de incorporação de calcário com o subsolador foi efetivo nas propriedades físicas do solo.

REFERÊNCIAS

- Botta, A. F., Silva, F. A., & Moreira, A. S. (2006). Efeitos da subsolagem na produtividade do milho em um latossolo vermelho distrófico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 30(4), 745-752.
- ABU-HAMDEH, NA Efeito da profundidade e tipo de subsolador nas propriedades físicas do solo e na produtividade do milho. **Pesquisa de Solo e Cultivo**, v. 1, pág. 1–12, 2003.
- ALBUQUERQUE, E. T. DE *et al.* Plantas de cobertura e adubação nitrogenada na produção de milho em siste-ma de plantio direto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental/Brazilian Journal of Agricultural and Environmental Engineering**, v. 17, n. 7, p. 721–726, 2013.
- AMORIM, Magno; SCHLINDWEIN, Jairo; COSME, Elaine; et al. DOSES, MODOS DE APLICAÇÃO DE CALCÁRIO E ÍNDICES DE ACIDEZ DO SOLO PARA PRODUÇÃO DE SOJA E MILHO NA REGIÃO DA ZONA DA MATA DE RONDÔNIA Respostas das plantas às doses e modos de aplicação de calcário em solo cultivado no sistema plantio direto. [s.l.: s.n., s.d.]. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/55241/1/alaerto-2-pibic-2011.pdf>>.
- (AMORIM; AGUIAR; COSTA, 2011) AMORIM, A. M. B.; AGUIAR, A. M.; COSTA, M. F. A influência da adição de ácidos húmicos e fúlvicos na produção de tomateiro (*Lycopersicon esculentum* Mill.) em um Latossolo Vermelho-Amarelo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, n. 6, p. 1625–1634, 2011.
- ARSHAD, M. A.; LOWERY, B.; LAL, R. **Physical properties and management of soils in the tropics and subtropics**. Boca Raton: Lewis Publishers, 1996.
- BORTOLUZZI, E. C. et al. Efeito da calagem na relação entre solo e água. **Revista brasileira de ciencia do solo**, v. 32, n. spe, p. 2621–2628, 2008.
- CANARACHE, J. G. Resistência do solo à penetração e desenvolvimento radicular do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 14, n. 2, p. 221–225, 1990.

CAIRES, E.; PEREIRA, A. V.; PAOLETTI, O. Efeito da calagem na produção de milho em sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 3, p. 541–549, 2003.

CANDIDO, E. **Fundamentos de fertilidade do solo**. 2. ed. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. [s.l: s.n.].

CARMO, D. L. DO; SILVA, C. A. Condutividade elétrica e crescimento do milho em solos contrastantes sob aplicação de diversos níveis de calagem. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, n. 10, p. 1762–1772, 2016.

COLLARES, L. F. A.; OLIVEIRA, F. A.; SILVA, M. A. Resistência do solo à penetração em função do manejo e da adubação nitrogenada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, n. 4, p. 803–811, 2006.

Correção da acidez do solo - Portal Embrapa. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/arroz/producao/sistema-de-cultivo/arroz-irrigado-na-regiao-tropical/correcao-do-solo-e-adubacao/correcao-da-acidez-do-solo>>. Acesso em: 7 nov. 2023.

DA SILVA, L. S. (ED.). Adubação fosfatada em sistemas de plantio direto: doses, modos de aplicação e resposta do milho. v. 42, [s.d.].

DANIELS, J. D.; HAMMER, D. A. **Soil mechanics and foundations**. New York: Macmillan Publishing Company, 1992.

DENARDIN, L.; SILVA, M. J.; MACHADO, J. J. Efeito da calagem e da matéria orgânica na densidade do solo em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, n. 2, p. 321–326, 2001.

FERNANDES, E. C.; PEREIRA, R. A.; OLIVEIRA, J. G. Efeito da calagem e da adubação orgânica sobre a densidade do solo, umidade gravimétrica e produtividade do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 45, n. 4, 2021.

FERREIRA, Daniel Furtado. SISVAR: A COMPUTER ANALYSIS SYSTEM TO FIXED EFFECTS SPLIT PLOT TYPE DESIGNS. **REVISTA BRASILEIRA DE BIOMETRIA**, v. 37, n. 4, p. 529, 2019.

Gavande, S. A. (1982). Física de solos: princípios e aplicações. México: Limusa. GOMES JUNIOR, W. L.; BARBOSA, F. T.; MELO, H. F. **Desenvolvimento radicular e da parte aérea de cultivos de inverno em solos com diferentes texturas e graus de compactação.** [s.l: s.n.].

GOMES, R. G. et al. Atributos químicos do solo influenciados por sistemas de manejo. **Revista Caatinga**, v. 22, n. 1, p. 78–84, 2009.

GUERRA, A. J. T. **Conservação do solo e da água.** Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. [s.l: s.n.].

GUERRA, A. J. T. **Erosão do solo: formas e processos. 2.** Rio de Janeiro; Bertrand Brasil: [s.n.].

GUERRA, A. J. T.; BOTELHO, R. G. M. **Erosão e conservação dos solos: uma visão multidisciplinar. 2.** Bertrand Brasil: [s.n.].

GUERRA, A. J. T.; BOTELHO, S. A. **Conservação do solo e da água.** [s.l.] Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1996b.

JUCKSCH, L. F. Influência do calcário no crescimento de mudas de eucalipto em Latossolo Vermelho Distroférrico. **Ciência Florestal**, v. 7, n. 1, p. 23–32, 1987.

KIEHL, E. J. **Manual de edafologia: relações solo-planta.** Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2018.

LAGOAS, S. **Viabilidade da Irrigação Viabilidade e Manejo da Irrigação da Cultura do Milho.** [s.l: s.n.].

Manual de métodos de análise de solo (2.^a ed. revista e atualizada). Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1997.

MOLIN, J. P. **Métodos de análise de solos. 2. ed.** Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. [s.l: s.n.].

NICOLOSO, G. et al. Subsoiler effects on soil physical properties and wheat yield. *Soil and Tillage Research*, v. 102, n. 1, p. 1–10, 2008. NOGUEIRA, L. A. et al. Efeito de diferentes formas de manejo do solo e da aplicação de calcário e gesso agrícola na porosidade do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 20, n. 12, p. 1109–1116, 2016.

NOVAIS, R. F. et al. Fertilidade do solo. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. PAULO, F. A. **Efeito do calcário e da matéria orgânica na produtividade do milho e da soja em um Argissolo Vermelho distrófico. Dissertação de mestrado.** [s.l.: s.n.].

PAVAN, M. A.; ROTH, F. Efeito do calcário e da adubação orgânica na densidade do solo e na produção de grãos de milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 27, n. 10, p. 1205–1211, 1992.

PONTAROLO, E. et al. Hiperdocumento Didático sobre o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. **RENOTE**, v. 3, n. 1, 2005.

REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. Relações entre densidade do solo, porosidade e capacidade de infiltração em um Argissolo Vermelho Distrófico. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, n. 10, p. 1267–1274, 2006.

RIBEIRO, G. J. S.; SILVA, D. L.; SCHAEFER, C. E. Efeito da adubação calcária na porosidade e estabilidade estrutural de um Argissolo Vermelho Distrófico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, n. 3, p. 539–546, 2007.

SANTOS, H. G. et al. **Sistema brasileiro de classificação de solos (SiBCS): atualização 2018.** SiBCS: Embrapa Solos, 2018.

SCHAEFER, C. E.; RIBEIRO, G. J. S.; SILVA, D. L. Efeito do preparo do solo na porosidade e na estabilidade estrutural de Argissolo Vermelho Distrófico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, n. 2, p. 327–334, 2001.

TAVARES FILHO, J. *et al.* 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.

TEIXEIRA, P. C. *et al.* **Manual de métodos de análise de solo (3.^a ed. revista e ampliada).** Brasília, DF: Embrapa Solos, 2017.

TORMENA, C. A.; SILVA, M. A.; FERREIRA, F. A. Variação temporal do intervalo hídrico ótimo e da resistência do solo à penetração em um Latossolo Vermelho distroférrico sob sistemas de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, n. 6, p. 1035–1042, 2002.

TORRES, F. A.; SARAIVA, A. A. Propriedades físicas do solo. Em: TORRES, F. A.; SARAIVA, A. A. (Eds.). **Fertilidade do solo: Fundamentos e aplicações**. Viçosa: [s.n.]. p. 181–210.

TROEH, F. R.; HOBBS, J. A.; DONAHUE, R. L. Soil and water conservation for productivity and environmental protection. **Soil science**, v. 132, n. 2, p. 189, 1981.

Vista do Adaptação de um equipamento para incorporação de calcário em solos sob plantio direto. Disponível em: <<https://revistas.udesc.br/index.php/agroveterinaria/article/view/5370/3575>>. Acesso em: 7 nov. 2023.

WENDLING, A. V.; BORTOLUZZI, E. C.; SILVA, G. R. Efeito do preparo do solo na densidade do solo, porosidade e condutividade hidráulica em um Argissolo Vermelho distrófico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, n. 5, p. 1445–1452, 2012.