

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP

CÂMPUS DE JABOTICABAL

**SISTEMA PLANTIO DIRETO: VALE A PENA FAZER
PREPARO DE SOLO COMO OPÇÃO DE “REFORMA”?**

Eduardo de Carvalho Machione

Administrador

2023

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP
CÂMPUS DE JABOTICABAL

**SISTEMA PLANTIO DIRETO: VALE A PENA FAZER
PREPARO DE SOLO COMO OPÇÃO DE “REFORMA”?**

Discente: Eduardo de Carvalho Machione

Orientador: Prof. Dr. Carlos Eduardo Angeli Furlani

Coorientador: Prof. Dr. Afonso Lopes

Coorientadora: Profa. Dra. Renata Fernandes de Queiroz

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Câmpus de Jaboticabal, como parte das exigências para a obtenção do título de Doutor em Agronomia (Ciência do Solo).

M149s

Machione, Eduardo de Carvalho

Sistema plantio direto: vale a pena fazer preparo de solo como opção de "reforma"? / Eduardo de Carvalho Machione. -- Jaboticabal, 2023

49 p. : il., tabs., fotos

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal

Orientador: Carlos Eduardo Angeli Furlani

Coorientadora: Renata Fernandes de Queiroz

1. Agronomia. 2. Escarificador. 3. Mecanização. 4. Plantio. 5. Semeadura. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA TESE: SISTEMA PLANTIO DIRETO: VALE A PENA FAZER PREPARO DE SOLO COMO OPÇÃO DE "REFORMA"?

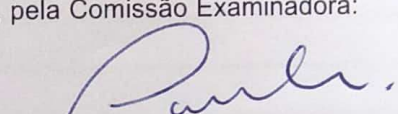
AUTOR: EDUARDO DE CARVALHO MACHIONE

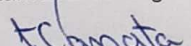
ORIENTADOR: CARLOS EDUARDO ANGELI FURLANI

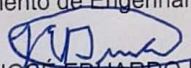
COORIENTADOR: AFONSO LOPES

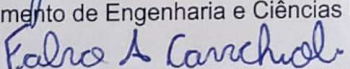
COORIENTADORA: RENATA FERNANDES DE QUEIROZ

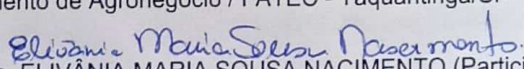
Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Doutor em Agronomia (Ciência do Solo), pela Comissão Examinadora:


Prof. Dr. CARLOS EDUARDO ANGELI FURLANI (Participação Presencial)
Departamento de Engenharia e Ciências Exatas DECEX / FCAV UNESP Jaboticabal


Profa. Dra. TATIANA FERNANDA CANATA (Participação Presencial)
Departamento de Engenharia e Ciências Exatas DECEX / FCAV UNESP Jaboticabal


Prof. Dr. JOSE EDUARDO PITELLI TURCO (Participação Presencial)
Departamento de Engenharia e Ciências Exatas (DECEX) / FCAV / UNESP - Jaboticabal


Prof. Dr. FABIO ALEXANDRE CAVICHIOLI (Participação Presencial)
Departamento de Agronegócio / FATEC - Taquaritinga/SP


Profa. Dra. ELIVÂNIA MARIA SOUSA NASCIMENTO (Participação Presencial)
Universidade do Estado de Minas Gerais/UEMG / Ituiutaba/MG

Jaboticabal, 14 de abril de 2023

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

Eduardo de Carvalho Machione, nascido em Barretos, São Paulo, no dia 05 de março de 1981, filho de Waldemar Machione Sobrinho e Vera Lucia de Carvalho Machione. cursou o Ensino Fundamental na Escola Estadual de Primeiro de Segundo Grau Cel. José Venâncio Dias e o Médio em duas escolas, sendo Escola Agropecuária São Francisco de Assis, na cidade de Colina/SP e Colégio Técnico Soares de Oliveira na cidade de Barretos/SP, com término em dezembro de 1999. Ingressou no ensino superior em Administração no ano de 2000, no Centro Universitário da Fundação Educacional de Barretos (UNIFEB), com trabalho de graduação desenvolvido na área de estágios supervisionados. Estagiou na empresa Rodomac Transportes Ltda. nos anos de 2002 a 2003, empresa que se encontra até hoje como gestor. Em janeiro de 2005 iniciou o curso de especialização (MBA) em Gestão de Negócios na Fundação para Pesquisa e Desenvolvimento da Administração, Contabilidade e Economia (FUNDADE), fundação ligada a Universidade de São Paulo (USP) obtendo em dezembro de 2006 o título de Especialista em Gestão de Negócios. No ano de 2008, iniciou o curso de Mestrado em Tecnologia Ambiental, na Universidade de Ribeirão Preto (UNAERP), Campus de Ribeirão Preto/SP, obtendo em julho de 2010 o título de Mestre em Tecnologia Ambiental. Em julho de 2019, iniciou o Curso de Doutorado em Agronomia (Ciência do Solo) na Universidade Estadual Júlio de Mesquita Filho (UNESP), Campus de Jaboticabal/SP. Hoje atua como professor dos cursos de Engenharia Agrônoma, Administração, Arquitetura e Contabilidade no Instituto Municipal de Ensino de Bebedouro Victório Cardassi, em Bebedouro/SP.

Ao meu filho, Oswaldo Eduardo Curi de
Carvalho Machione, por sempre me fazer
crer que o melhor ainda estar por vir.

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador Professor Dr. Carlos Eduardo Angeli Furlani por sua persistência, orientação, atenção, generosidade, boa vontade, paciência, amizade e os conselhos que sempre me proporcionou.

Ao meu coorientador, Professor Dr. Afonso Lopes, pelo companheirismo, paciência, orientação e amizade em todos os momentos que necessitei durante essa longa jornada.

A Minha coorientadora Professora Dra. Renata Fernandes Queiroz pelo carinho, ternura, paciência e orientação na execução desse trabalho, onde sem a mesma esse trabalho não seria possível.

A Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho – UNESP, ao Programa de Pós-graduação em Agronomia (Ciência do Solo), aos professores que compõem o quadro do programa e me propiciaram o aprimoramento dos meus conhecimentos.

Ao grupo de pesquisa, LAMMA (Laboratório de Máquinas e Mecanização Agrícola) e todos que os compõem.

A toda a minha família por me fortalecerem nos momentos em que eu pesei em desistir.

Aos meus amigos Jean Lucas Pereira de Oliveira e Tulio Mazetti Marra, pelo apoio do desenvolvimento do trabalho.

A Fazenda de Ensino Pesquisa e Extensão da UNESP – Campus de Jaboticabal, em nome de todos seus funcionários, que me apoiaram, permitiram e foram fundamentais na elaboração desse trabalho.

A todos que não foram citados, mas que de forma direta ou indireta contribuíram para a realização desse trabalho.

SUMÁRIO

	Página
1 INTRODUÇÃO	1
2 REVISÃO DE LITERATURA	2
2.1 Compactação do Solo.....	2
2.2 A Cultura do Milho.....	7
2.3 Sistema Plantio Direto (SPD).....	9
2.4 Escarificação.....	12
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	15
3.1 Descrição da área experimental.....	15
3.2 Análise Estatística.....	17
3.3 Variáveis analisadas	18
3.4 Material utilizado e métodos de avaliação	18
3.4.1 Resistência mecânica do solo a penetração (RMSP).....	21
3.4.2 Número de dias de emergência.....	22
3.4.3 Profundidade de semente.....	22
3.4.4 Distribuição longitudinal de plantas de milho	23
3.4.5 População inicial e final de plantas de milho	23
3.4.6 Altura de planta, altura da inserção da primeira espiga e diâmetro do colmo	24
3.4.7 Número de fileira por espiga, número de grãos por fileira	25
3.4.8 Massa de matéria seca do milho	26
3.4.9 Produtividade do milho	26
3.4.10 Patinagem dos rodados da semeadora, patinagem dos rodados traseiros do trator, velocidade de deslocamento e capacidade de campo operacional (CCO)	26

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	28
4.1 Parâmetros fitotécnicos do milho	28
4.2 Desempenho operacional	33
5 CONCLUSÃO.....	36
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	36
REFERENCIAS.....	37

SISTEMA PLANTIO DIRETO: VALE A PENA FAZER PREPARO DE SOLO COMO OPÇÃO DE “REFORMA”?

RESUMO - O sistema plantio direto apresenta dificuldades em manter a produtividade de suas lavouras quando observa-se camadas compactadas que dificultam ou impossibilitam o desenvolvimento das culturas e limitam seu potencial produtivo. Objetivou-se com o presente estudo avaliar a intervenção de preparo do solo em área de sistema plantio direto é vantajosa para a produção da cultura do milho. O delineamento experimental adotado foi em blocos ao acaso, com seis tratamentos em esquema 3x2, com quatro repetições, sendo três sistemas de preparo do solo e dois de híbridos de milho, totalizando vinte e quatro unidades experimentais. Os tratamentos foram: P1H1 – sistema plantio direto com milho P4285VYHR; P1H2 – sistema plantio direto com milho MG593PWU; P2H1 – escarificação a 15 cm de profundidade com milho P4285VYHR; P2H2 – escarificação a 15 cm de profundidade com milho MG593PWU; P3H1 – escarificação a 30 cm de profundidade com milho P4285VYHR; P3H2 – escarificação a 30 cm de profundidade com milho MG593PWU. Foram avaliados número de dias de emergência, profundidade de semente, distribuição longitudinal de plântulas e parâmetros fitotécnicos e produtivos do milho. Os dados foram submetidos ao Teste F e, quando necessário, foi aplicado o Teste de Tukey ($p < 0,05$) para comparação das médias. Os híbridos de milho analisados, assim como os sistemas de preparo, em nada interferiam na qualidade da semeadura e, principalmente, nos parâmetros produtivos do milho. Concluiu-se que para as condições avaliadas não há necessidade de realizar escarificação do solo, visando maior produtividade da cultura.

Palavras-Chave: Compactação do solo, Escarificação, Manejo do solo, Produtividade do milho, Sustentabilidade

DIRECT PLANTING SYSTEM: IS IT WORTH IT TO PREPARE THE SOIL AS A “REFORM” OPTION?

ABSTRACT - The no-tillage system presents difficulties in maintaining the productivity of its crops when compacted layers are observed that make it difficult or impossible for the crops to develop and limit their productive potential. The objective of the present study was to evaluate the intervention of soil preparation in an area of no-tillage system is advantageous for the production of the corn crop. The experimental design adopted was randomized blocks, with six treatments in a 3x2 scheme, with four replications, three soil tillage systems and two corn hybrids, totaling twenty-four experimental units. The treatments were: P1H1 – no-tillage system with corn P4285VYHR; P1H2 – no-tillage system with MG593PWU corn; P2H1 – scarification at 15 cm depth with P4285VYHR corn; P2H2 – scarification at 15 cm depth with MG593PWU corn; P3H1 scarification at 30 cm depth with P4285VYHR corn; P3H2 – scarification at 30 cm depth with MG593PWU corn. The number of days of emergence, seed depth, longitudinal distribution of seedlings and phytotechnical and productive parameters of corn were evaluated. The data were submitted to the F Test and, when necessary, the Tukey Test ($p < 0.05$) was applied to compare means. The corn hybrids analyzed, as well as the tillage systems, did not interfere in the sowing quality and, mainly, in the corn productive parameters. It was concluded that for the evaluated conditions there is no need to perform soil scarification, aiming at greater crop productivity.

Keyword: Soil compaction, Scarification, Soil management, Corn productivity, Sustainability

LISTA DE TABELAS

Tabela		Página
1	Análise de variância para o delineamento 2 em blocos ao acaso em esquema fatorial (3x2)	17
2	Tratamentos avaliados.....	17
3	Valores médios para número de dias de emergência, profundidade de sementes e distribuição longitudinal.....	29
4	Valores médios para altura de planta, diâmetro de colmo, número de grãos por fileira e número de fileiras da espiga do milho.....	31
5	Valores médios para população inicial, população final, matéria seca e produtividade.....	32
6	Valores médios para patinação do rodado da semeadora (PRS), patinação do rodado traseiro do trator (PRT), velocidade de deslocamento e capacidade de campo operacional (CCO).....	34

LISTA DE FIGURAS

Figuras		Página
1	Precipitação, médias de temperatura máxima, mínima e média durante a condução do experimento. Jaboticabal, ano agrícola 2020/2021. Fonte: Departamento de Ciências Exatas, FCAV – UNESP, Jaboticabal.....	16
2	Croqui da área experimental no delineamento.....	17
3	Trator utilizado no preparo e semeadura do experimento....	19
4	Escarificador utilizado no preparo do solo.....	20
5	Semeadora-adubadora utilizada na semeadura do experimento.....	21
6	Avaliação de profundidade de semente. Fonte: Queiroz, 2019.....	23
7	Avaliação de altura de planta e altura de inserção de primeira espiga. Fonte: Queiroz, 2019.....	24
8	Avaliação do diâmetro do colmo. Fonte: Queiroz, 2019.....	25
9	avaliação de número de fileiras por espiga, e número de grãos por fileira. Fonte: Queiroz, 2019.....	25

1 INTRODUÇÃO

A produção de alimentos trata-se de uma das maiores preocupações mundiais, a qual, quando não suficiente, afeta diretamente a qualidade de vida da população e o meio ambiente. Garantir a segurança alimentar de forma sustentável, é um dos grandes desafios enfrentados atualmente pelos gestores mundiais. A obtenção da segurança alimentar ocorre quando a existe um equilíbrio entre a demanda e a oferta de alimentos (MARTHA JUNIOR; ALVES; CONTINI, 2012).

Historicamente o ser humano busca por melhorias em seus processos de produção agrícola, tanto no âmbito de qualidade, quanto no âmbito de quantidade. A busca continua por essa melhoria proporcionou o surgimento de várias tecnologias e métodos de controle e aperfeiçoamento da produção.

Ao se observar o conceito de produtividade agrícola, nota-se que há uma grande tendência em produzir cada vez mais nas áreas já disponíveis para agricultura. Para que haja essa crescente produtividade e sustentabilidade do sistema devem ser utilizando métodos de conservação do solo, constantes pesquisas com novos cultivares e híbridos agrícolas, otimizar e utilizar novas fontes de adubos, adotar novos métodos de manejo com máquinas e equipamentos agrícolas, uma vez que a preservação ambiental é uma questão cada vez mais presente e importante.

A modernização agrícola nacional recente se fortaleceu, alicerçada na transformação global econômica e social, acompanhada de uma alta industrialização.

No Brasil, o desenvolvimento da agricultura baseia-se primordialmente no aumento de produtividade, minimizando a necessidade de novas áreas cultivadas. Frente a isso, os processos de mecanização agrícola juntamente com as tecnologias de melhoramento genético vêm proporcionando, cada vez mais, o aumento da produtividade agrícola, gerando um aumento significativo da produção nas áreas pré-existentes.

Os atuais processos de mecanização agrícola, além de proporcionarem maior agilidade nas operações também proporcionam uma significativa economia de recursos, fato esse que de certa forma alavanca também os retornos financeiros oriundos dessa produção. Para que esse retorno aconteça é necessário que essa

mecanização seja feita de forma adequada e comedida, adotando princípios de proporcionalidade.

Os sistemas conservacionistas, como o sistema de plantio direto (SPD), estão diretamente ligados às questões de alta na produtividade, uma vez que os mesmos têm como uma de suas premissas a economia de recursos, economia essa que influencia diretamente nos parâmetros de produtividade.

Outro fator importante que está relacionado ao SPD, é a questão da sustentabilidade, ou seja, à medida que se promove uma economia de recursos dentro de uma operação, projeta-se parâmetros interessantes acerca de sustentabilidade, desta forma objetivou-se com o presente estudo analisar se a intervenção de preparo do solo em área de SPD é vantajosa para a produção da cultura do milho.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Compactação do Solo

A compactação do solo é um processo no qual as partículas do solo são pressionadas juntas, reduzindo a quantidade de espaço vazio entre elas (COTRIM et al., 2020). Esse processo pode ocorrer naturalmente, mas também pode ser causado pela atividade humana. induzidos pela ação antrópica, durante a qual ocorre um aumento da densidade, em consequência da redução de volume pela expulsão do ar (DIAS JÚNIOR; PIERCE, 1996). Dessa forma, com incremento do processo de compactação do solo ocorre alteração no arranjo das partículas do solo, no volume, tamanho dos poros e na difusão de gases (ALAOUI et al., 2011), influenciando os fatores físicos do solo que afetam o crescimento das plantas.

A compactação do solo pode ter efeitos negativos sobre a qualidade do solo, sua capacidade de retenção de água e nutrientes, além de afetar a sua permeabilidade e aeração contribuindo com o processo de erosão e perda de nutrientes do solo (BREVIK; HOMBURG; SANDOR, 2018).

Segundo Beulter e Centurion (2004), a compactação do solo reduz o crescimento das raízes, limitando a absorção de água e nutrientes e afetando a capacidade do solo de suportar a carga da planta dificultando a penetração de raízes. Em solos compactados as plantas tendem a explorar um volume menor de solo, geralmente na camada de 0-10 cm (SILVA, 2021).

A compactação do solo é um fator que pode limitar, diretamente, o crescimento de culturas agrícolas e, com isso, afetar sua produtividade. Estudos, com diferentes níveis de compactação do solo, realizados em vasos ou diretamente no campo, demonstram que o desenvolvimento do milho é prejudicado desde seu estágio inicial. Ensaio, com diferentes níveis de resistência mecânica à penetração do solo, demonstram que o milho é afetado e suas raízes têm dificuldades de se desenvolverem com resistências a partir de 1,4 MPa (ALMEIDA et al., 2021; FOLONI, CALONEGO e LIMA, 2003).

Benjamin, Nielsen e Vinil (2003) constataram que no sistema de plantio direto a camada compactada encontra-se na profundidade de 7 a 20 cm, o que tem efeitos negativos significativos no desenvolvimento radicular e na capacidade das culturas em absorver água e nutrientes. Já Ngo-Cong et al. (2021) e Siczek et al. (2015) verificaram que a compactação do solo na profundidade de 7 a 20 cm reduziu a macroporosidade do solo e a conectividade dos poros e, portanto, a infiltração de água e a capacidade de armazenamento de água.

O processo de compactação ocorre de diferentes formas, sendo intensificado pelo tráfego de máquinas de peso cada vez mais elevado. Este aumento de peso das máquinas não foi proporcionalmente distribuído no tamanho e largura dos pneus, acarretando um aumento de pressão sobre o solo e modificando sua estrutura física (RICHART et al., 2005). No entanto, o não-revolvimento do solo, aliado ao tráfego de máquinas, acarreta alterações na sua estrutura que, associadas à reduzida rugosidade superficial, podem ser desfavoráveis à infiltração de água, modificando sua dinâmica nesse sistema.

A descompactação do solo utilizando implementos de hastes, como escarificadores, que produzem superfícies mais rugosas, que os implementos de discos, como grades pesadas, têm por objetivo aumentar a porosidade, reduzir a densidade e, ao mesmo tempo, romper as camadas superficiais encrostadas e

camadas subsuperficiais compactadas (KOCHHANN; DENARDIN, 2000). O tipo e a época das operações de preparo influenciam o seu resultado, afetando a taxa de infiltração à velocidade da enxurrada, a capacidade de armazenamento de água no solo e, por consequência, os riscos de erosão (LEVIEN et al., 1990).

A compactação do solo tem sido reconhecida como uma séria ameaça ao funcionamento dos solos agrícolas (FAO, 2015). Essa ameaça é causada principalmente pelo tamanho e peso cada vez maiores das máquinas agrícolas (KELLER et al., 2019) e pelo aumento da incidência de operações agrícolas em períodos em que o solo está úmido a úmido (STATBEL, 2022) e, portanto, mais propenso à compactação (GUT et al., 2015, SAFFIH-HDADI et al., 2009).

O impacto da gota de chuva é considerado como uma fonte natural de compactação (RICHART et al., 2005). No solo exposto, quando a precipitação é intensa, a superfície do solo recebe a maior parte da energia cinética das gotas de chuva, resultando na quebra dos agregados, começando assim o processo de erosão.

Quando se observa compactação utiliza-se sistemas de manejo que consiga romper a camada compactada, mobilizando ao mesmo tempo, o mínimo possível a camada superficial, procurando manter o máximo de palhada sobre a superfície do solo (CARVALHO FILHO et al., 2007). Esta interferência no solo deverá ser executada pelo uso de escarificadores e/ou subsoladores, providos de discos de corte na frente das hastes para a realização do corte da palhada sob a superfície do solo (SEKI et al., 2015).

Silva e Benez (2005) apontam que uma forma de racionalizar a utilização de máquinas e implementos para descompactar superficialmente o solo em áreas de plantio direto é a utilização de mecanismos sulcadores, tipo hastes. A profundidade de trabalho das hastes sulcadoras permite quebrar a camada compactada superficial do solo, sendo a profundidade de trabalho abaixo da camada compactada (MELLO; TAKAHASHI; YANO, 2002).

Mello, Takahashi e Yano (2002), avaliando as condições físicas do solo submetido a mecanismos sulcadores de semeadoras concluíram que a haste apresentou maior capacidade de romper o solo na linha da semeadura, provocando redução na densidade e resistência à penetração, aumento na macroporosidade do

solo e da produtividade de grãos de milho, em relação ao mecanismo sulcador tipo disco duplo.

É comum ocorrer a compactação do solo nas camadas superficiais em sistemas conservacionistas, a exemplo do sistema plantio direto e cultivo mínimo, também permitindo a expansão para novas áreas. Porém, fatores limitantes são decisivos para a obtenção do potencial máximo de produtividade nestas áreas, entre eles, destaca-se as alterações nos atributos físicos do solo, principalmente a compactação, prejudicando a sustentabilidade do sistema plantio direto (SILVA; IMHOFF; KAY, 2004).

A compactação superficial do solo sob plantio direto tem sido frequentemente relatada no Brasil (DRESCHER et al., 2017; MORAES et al., 2016; SILVA et al., 2014) e no mundo (BENJAMIN; KARLEN, 2014; KAHLON; CHAWLA, 2017; MUNKHOLM, 2013). Máquinas cada vez maiores e, portanto, mais pesadas (KELLER et al., 2019, MORAES et al., 2016), combinadas com um calendário agrícola estreito em sistemas de produção intensivos, aumentaram o risco de danos ao solo devido à compactação quando o tráfego de máquinas ocorre em áreas úmidas ou condições de solo macio.

Araújo et al. (2004), destacam que uma causa importante é o tráfego de máquinas e implementos em condições de alto teor de água no solo, ou mesmo por mobilizá-lo somente na linha de semeadura. A falta de rotação de culturas também contribuiu para aumentar o risco de compactação em sistemas de plantio direto (SIVARAJAN et al., 2018).

O solo possui capacidade de suportar a pressão executada pelas máquinas, implementos ou animais, porém quando esta pressão é superior a esta capacidade, o solo tende a compactar e este fato pode ser agravado se as condições presentes no solo no momento da pressão forem propícias, como por exemplo, se houver alta umidade (TOIGO, 2010). A compactação do solo é considerada uma das principais fontes de estresse abiótico relacionado ao solo e tem levado a perdas de produtividade das culturas (KELLER et al., 2019), principalmente no sistema de produção de sequeiro.

Estudos preliminares sugeriram que o uso de semeadoras no sistema de plantio direto equipadas com abridores de haste fixa ou abridores de pontas estreitas podem superar a compactação superficial do solo sem preparo contínuo (MOREIRA

et al., 2020, NUNES et al., 2015). Hansel et al. (2017) mostraram que a perturbação do solo devido à abridor de ponta estreita melhorou o ambiente físico do solo na linha de semeadura, o que, por sua vez, reduziu o risco de estresse hídrico e aumentou a resiliência da cultura da soja ao déficit hídrico.

No Brasil, as semeadoras de discos são mais populares do que as semeadoras de hastes devido à sua maior eficiência operacional, menor consumo de combustível e melhor cobertura superficial de resíduos (CONTE et al., 2009, SICZEK et al., 2015). No entanto, esse tipo de mecanismo atua superficialmente em profundidades menores que 7 sem perturbar as camadas compactadas do solo sem preparo (geralmente entre 7 e 20 cm) (AIKINS et al., 2020). Em contraste, espera-se que o uso de hastes de pontas estreitas quebre a camada compactada do solo, o que, por sua vez, pode melhorar a qualidade física do solo, o crescimento das raízes e o rendimento da cultura sob plantio direto (CONTE et al., 2009; DRESCHER et al., 2017; TRENTIN et al., 2018). Além disso, Nunes et al. (2015) e Drescher et al. (2017) relataram a eficiência de haste de pontas estreitas em latossolos argilosos no Brasil.

O preparo ocasional, como escarificação e subsolagem, tem sido recomendado como alternativa para superar a compactação do solo sob plantio direto (DANG et al., 2018; DRESCHER et al., 2017; PEIXOTO et al., 2019). No entanto, essas práticas podem aumentar o custo de produção e seus efeitos benéficos em termos de ganhos de produtividade a longo prazo foram relatados como marginais (MORAES et al., 2016, NUNES et al., 2019) porque o solo fica suscetível à compactação (GUIMARÃES JÚNNYOR et al., 2019), aumento do risco de erosão e escoamento devido à remoção temporária da cobertura da superfície (MELLAND; ANTILLE; DANG, 2017).

Dessa forma, é importante adotar práticas de manejo adequadas para prevenir e corrigir a compactação do solo. Estas práticas incluem a utilização de culturas de cobertura, o uso de técnicas de cultivo mínimo, a redução da intensidade de tráfego em áreas agrícolas e a adoção de práticas de conservação do solo (AUGUSTO et al., 2022). A implementação de práticas de manejo do solo pode ajudar a melhorar a qualidade do solo, aumentando a permeabilidade, a aeração e a capacidade de retenção de água e nutrientes.

2.2 A Cultura do Milho

O milho (*Zea mays* L.) é uma cultura de elevada importância econômica, sendo amplamente cultivado para alimentação humana e animal, além de ser utilizado para produzir etanol, biocombustíveis, amido, entre outros. É cultivada em vários países, como os Estados Unidos, China e Brasil produzindo mais de 65% do total mundial (USDA, 2022). Nos sistemas de cultivo, os fatores de produção são cuidadosamente controlados para redução dos estresses bióticos e abióticos como forma de reduzir a produtividade das culturas (CUSTODIO et al., 2016).

É uma das culturas agrícolas mais produzidas no Brasil. O crescimento de sua produção vem acontecendo desde meados da década de 1970, com expressivo aumento nas décadas de 2001 e 2011. Trata-se de uma cultura amplamente cultivada nas diversas regiões do país, com grande variedade de híbridos e cultivares e, também grande variedade nas tecnologias empregadas para a produção (ARTUZO et al., 2019). O milho é uma cultura que se adapta bem a ao sistema plantio direto e, de acordo alguns estudos, há incremento na produtividade do milho quando este é produzido em área com palhada (DAMASCENO, 2019 e MICHELON et al., 2019).

No Brasil, a produtividade média do milho tem aumentado nos últimos anos, de acordo com dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2022). Em 2021, a produtividade média do milho no país foi de 6,7 t/ha, um aumento de 1,5% em relação a 2020. Em alguns estados, como Mato Grosso e Paraná, a produtividade média ultrapassa as 10 t/ha.

O milho ocupa a segunda posição das culturas mais produzidas no Brasil. Nas safras de 2022, foram mais de 19 milhões de hectares de área cultivada. A produção estimada para a safra de 2022/2023 é de 125,8 milhões de toneladas de grãos representando um aumento de 11,2% em relação à produção anterior (CONAB, 2023).

A cultura do milho pode ser cultivada em diferentes épocas do ano, dependendo da região e das condições climáticas. No Brasil, a época de plantio mais comum é entre os meses de setembro e outubro, mas também pode ser cultivado em outras épocas do ano, de acordo com a região e a disponibilidade hídrica.

Muitos são os fatores que interferem na produtividade do milho, como disponibilidade de água, adubação, condições do solo, população de plantas e época

de semeadura (SANGOI et al., 2004). Cada sistema de produção tem determinada população a ser utilizada para que haja maximização da produtividade de grãos e desenvolvimento da cultura.

O milho pode ser cultivado em diferentes sistemas de plantio, como o plantio convencional, o plantio direto e o sistema de plantio em consórcio, em que o milho é cultivado junto com outras culturas, como a soja, o feijão, a mandioca, entre outras. Esse sistema é conhecido como consorciação e pode proporcionar diversos benefícios, como a redução de custos de produção, o aumento da produtividade e a melhoria da qualidade do solo.

Possamai, Souza e Galvão (2001) avaliando os diferentes sistemas de preparo do solo para o milho safrinha observaram maiores produtividade quando se utiliza o sistema de plantio direto. Os mesmos autores ainda ressaltam que esse tipo de manejo proporciona número reduzido de dias para florescimento, maior diâmetro de colmo, maiores populações de plantas, maior altura de plantas, maior número de espigas por hectare, maior altura de inserção da primeira espiga e maior índice de espigas.

Bertolini et al. (2008) avaliando o desempenho da cultura do milho em diferentes sistemas de manejo do solo, não verificaram diferenças significativas nos componentes de produção. Para Pragana et al. (2012), as desvantagens do plantio direto são mínimas e contornáveis, dessa forma esse sistema, quando bem empregado poderá oferecer maior sustentabilidade ao agroecossistema aliando-se a altos índices de produtividade.

Para o sucesso do cultivo do milho, é importante escolher as variedades mais adequadas ao clima e ao solo da região, além de adotar práticas de manejo adequadas, como o uso de sementes de qualidade, adubação equilibrada, controle de pragas e doenças, entre outras práticas. Também é importante a realização do manejo integrado de pragas e doenças, que busca a utilização de medidas preventivas e curativas, com o objetivo de reduzir o uso de agrotóxicos.

Além disso, a cultura do milho tem a vantagem de ceder uma grande quantidade de restos culturais, que ao serem bem manejados, contribuem na redução da erosão e transição para um melhor estado do solo, dessa forma, sua inclusão em um esquema de rotação é essencial (CRUZ et al., 2006).

2.3 Sistema Plantio Direto (SPD)

Sistemas de plantio direto e integração lavoura pecuária tem proporcionado vantagens econômicas e ambientais, tais como: maior conservação do solo, maior produtividade, maior diversificação de atividades, menor risco econômico e menor custo de produção (TORRES, ASSIS e LOSS, 2018; AGUIAR et al., 2021; FRASCA et al., 2021). Estudos demonstram que o manejo do solo no sistema plantio direto, sem a necessidade de preparo por meio de equipamentos agrícolas, beneficia a conservação, pois o preparo, quando mal planejado e usado de forma indevida, pode proporcionar degradação e alteração nas propriedades físicas, como alteração da densidade e dos agregados do solo (SORIANE et al., 2018).

O sistema plantio direto é uma prática de manejo desenvolvida para prover sustentabilidade da produção agrícola, mostrando-se eficiente no controle de erosão e perdas de solo e da água e adequado para as regiões tropicais evitando exposição do solo à intensa ação dos raios solares e da chuva (RESCK et al. 2008).

É um sistema em que o preparo do solo é realizado no momento da semeadura, preparo este realizado somente nas linhas em que são depositados semente e adubo. Essa técnica consiste em semear a cultura diretamente sobre o solo não revolvido, coberto por restos culturais de culturas anteriores (DERPSCH et al., 2010). Quando utilizado de forma correta, esse sistema de manejo é eficaz na proteção da superfície do solo (GENNARO, 2011).

O sistema de plantio direto contribui para minimizar a perda de solo no cultivo, garantindo a estabilidade dos agregados mediante uma mobilização mínima do solo (SALOMÃO et al., 2020). Portanto, juntamente com outros benefícios que o sistema oferece, tem sido adotado por um número de produtores cada vez maior.

O sistema de plantio direto iniciou-se nos anos 1970, seu desenvolvimento teve o intuito de solucionar os problemas de erosão, buscando a sustentabilidade da produção agrícola e conservação do solo, entretanto se encontra em contínua evolução e expansão (PURÍSSIMO, 1997; SALOMÃO et al., 2020). Nesse sistema de manejo o processo de semeadura ocorre sem o revolvimento do solo, no qual a

semente é colocada em sulcos ou covas, com largura e profundidade definidas (CRUZ et al., 2002).

É uma prática amplamente utilizada em áreas agrícolas em todo o mundo, principalmente em regiões onde as condições climáticas e do solo são desfavoráveis. Essa técnica apresenta diversos benefícios, como a redução da erosão do solo, a melhoria da estrutura do solo, o aumento da infiltração de água e a conservação da umidade do solo (DOS SANTOS et al., 2013).

Diversos fatores influenciam o processo de perda de solo, entres estes, citam-se clima, tipo de solo, relevo, vegetação e ação do homem, no entanto, apenas os dois últimos poderão ser alterados, pelo uso racional do solo e pela adoção de técnicas conservacionistas (FANCELLI; DOURADO NETO, 2004), visando melhorias nas condições físicas, químicas e biológicas do solo, além do controle da erosão.

Klein e Boller (1995) avaliando a resposta da cultura do milho a diferentes manejos do solo e métodos de semeadura em sistema de plantio direto, observaram uma maior compactação na camada superficial (0 – 5 cm). Conseqüentemente, essa compactação superficial na semeadura direta ocorre com a acomodação natural de partículas, do reduzido revolvimento do solo e do tráfego contínuo de máquinas e implementos na superfície do solo (STONE; SILVEIRA, 2001), uma vez que o solo está sujeito tanto ao processo de degradação quanto ao aumento de seu potencial produtivo.

Estima-se que o plantio direto seja utilizado em mais de 150 milhões de hectares no mundo (KASSAM et al., 2015) e mais de 33 milhões de hectares no Brasil (FEBRAPD, 2022). Em comparação com o cultivo convencional, o plantio direto combinado com outras práticas de conservação, como diversificação do sistema de cultivo e cobertura permanente do solo promove a conservação do solo e da água (SALOMÃO et al., 2020). Isso ocorre devido à diminuição do escoamento, erosão do solo, transporte de sedimentos e nutrientes para córregos e lagos melhorando o teor de carbono orgânico do solo (BLANCO-CANQUI et al., 2009). Além disso, há melhoria na estrutura do solo (CALONEGO; ROSOLEM, 2008), na ciclagem de nutrientes, na redução do consumo de energia e emissão de gases de efeito estufa (LAL, 2015), o que reflete no aumento da produtividade da cultura (CALONEGO et al., 2017).

De acordo com Salomão et al. (2020), o sistema de plantio direto quando comparado ao sistema de plantio convencional, minimiza a perda do perfil de solo em até cinco vezes mais, quando ocorre eficiência no manejo do SPD. Sob sistema de plantio direto, a perturbação do solo é restrita ao caminho da semeadura, onde a unidade de semeadura coloca as sementes e o fertilizante no solo (NUNES et al., 2015), deixando assim a maior parte da superfície do solo intacta e coberta por resíduos da cultura (AIKINS et al., 2020).

Além disso, o plantio direto também pode reduzir os custos de produção e os impactos ambientais associados a outras práticas de manejo do solo, como o revolvimento do solo e o uso de agrotóxicos. Essa técnica pode contribuir para a conservação dos recursos naturais, a melhoria da qualidade do ar e da água, e a redução da emissão de gases de efeito estufa (DERPSCH et al., 2010).

O sucesso do sistema plantio direto está diretamente relacionado à produção de palhada, à manutenção dessa palhada na superfície e ao manejo adequado para evitar a compactação do solo. Pois quando há compactação, em área de sistema plantio direto, esta deve ser revertida por meio de práticas que evitem a necessidade de preparo do solo com o uso de equipamentos agrícolas. Exemplo de práticas a serem empregadas é a rotação de culturas que visa explorar o uso do solo, por meio de diferentes espécies que visa explorar o solo com plantas de sistemas radiculares mais profundos e mais vigorosos. No entanto, quando a prática de rotação não oferece sucesso outras práticas mecânicas podem ser empregadas (ANDRADE et al., 2018).

No entanto, é importante destacar que a adoção do plantio direto requer uma série de cuidados e práticas de manejo adequadas para garantir a sua efetividade e maximizar os seus benefícios. É preciso adotar um sistema de rotação de culturas, utilizar cobertura vegetal adequada, monitorar e controlar as pragas e doenças, entre outras práticas ((MELLO; TAKAHASHI; YANO, 2002). Portanto, o plantio direto é uma técnica de manejo do solo que apresenta diversos benefícios ambientais e econômicos, mas que requer um planejamento cuidadoso e a adoção de práticas de manejo adequadas para garantir a sua efetividade.+*

2.4 Escarificação

A escarificação do solo é um processo de manejo que tem como objetivo melhorar a estrutura do solo, aumentando a sua permeabilidade, aeração e capacidade de retenção de água e nutrientes. A escarificação pode melhorar a produção das culturas, diminuindo a densidade do solo, além de permitir o desenvolvimento das raízes (CAMARA e KLEIN, 2005; GIACOMELI et al., 2016; SOUZA, 2021). Além da agricultura, a escarificação do solo também é utilizada em áreas de reflorestamento, restauração de áreas degradadas e em atividades de mineração, visando reduzir os impactos ambientais e recuperar a capacidade produtiva do solo (PELLENS et al., 2018).

Como forma de reduzir os efeitos da compactação do solo e suas limitações físico-hídricas, bem como, seu impedimento na produtividade das culturas, é comum em alguns casos, o uso de escarificador (FACHIN; TOMAZ, 2020). Este equipamento promove um menor revolvimento superficial do solo em profundidades entre 20 e 30 cm, por meio da ação de hastes, sem o tombamento da leiva, além da manutenção da maior parte da palhada na superfície (CORTEZ et al., 2011).

O uso de implementos com hastes, como os escarificadores, para descompactação do solo produz superfícies mais rugosas, com o objetivo de aumentar a porosidade e reduzir a densidade do solo, ao mesmo tempo, romper as camadas superficiais encrostadas e camadas subsuperficiais compactadas (KOCHHANN; DENARDIN, 2000). Outra solução é o uso de plantas com sistema radicular profundo e agressivo capaz de crescer em camadas de solo compactado (ABREU et al., 2004).

De acordo com estudo realizado com vários manejos de intervenção de preparo de solo, o solo preparado com escarificador, cujas as hastes estavam espaçadas a 0,70 m e com profundidade de 0,50 m, obteve melhores valores de infiltração de água com cerca de 360 mm h⁻¹. Os demais tratamentos (escarificador espaçado a 0,4 m e com profundidade de 0,40 m; e sistema plantio direto) apresentaram infiltração inferior a 90 mm h⁻¹. Já a produtividade do milho, avaliada no mesmo experimento, não apresentou diferença entre os tratamentos, ficando em torno de 10,3 e 8,7 Mg ha⁻¹ (HASKEL, 2020).

Um dos principais causadores da compactação dos solos em áreas agrícolas com SPD (Sistema de Plantio Direto) é o intenso tráfego de máquinas agrícolas, que resulta na compactação dos solos. Em SPD, onde há ausência do revolvimento do solo, estes efeitos são observados mais facilmente nas camadas superficiais, pois com o tráfego das máquinas e a ausência de revolvimento no decorrer dos anos, facilita a formação da camada compactada, ou camada de impedimento ao desenvolvimento radicular, que contribui para a redução da infiltração de água no solo, aumento no escoamento superficial, formação de ravinas e voçorocas e aumento nas taxas de erosão (HILLEL, 2004; LEPSCH, 2010; MORGAN, 2005; SALES et al., 2016).

O grau de revolvimento do solo depende da quantidade de sustentação gerada pelo subsolador, que por sua vez depende de um conjunto de características do dente, como largura, inclinação, altura de elevação do pé do dente e fixação das asas ao pé do dente e do solo condições que determinarão sua resistência confinante (ou seja, a resistência ao movimento ascendente), como teor de umidade, densidade aparente, mas também profundidade de trabalho (HAMZA e ANDERSON, 2005; RAPER, 2005; SPOOR, 2006; SPOOR e GODWIN, 1978). Outras características do subsolo, como o número de dentes ou o espaçamento relativo entre eles, também desempenham um papel crucial na ruptura do solo e sua variação espacial (HAMZA e ANDERSON, 2008; SPOOR; GODWIN, 1978).

Embora recomendada frequentemente pelos técnicos, o processo de escarificação é de elevada demanda de potência de maquinário, alto consumo de combustível e de tempo, portanto deve ser aplicada somente onde a compactação foi diagnosticada (GIRARDELLO et al., 2011). Nesse contexto, a escarificação destaca-se como uma boa alternativa, desde que recomendada após um diagnóstico confirmando as áreas compactadas.

Diversas pesquisas têm sido realizadas com a escarificação mecânica para avaliar seus efeitos sobre a compactação e sua longevidade. A escarificação mecânica é um método temporário realizado com uso de implementos agrícolas como o escarificador (REIS et al., 2022). Girardello et al. (2014) avaliaram a eficiência de escarificadores mecânicos na redução da resistência do solo a penetração e

encontraram redução nos valores. Drescher et al. (2016), avaliando o tempo de duração escarificação mecânica, em sistema plantio direto observaram menor resistência do solo a penetração até 18 meses após a escarificação.

A escarificação pode ter efeitos diretos e indiretos a curto e em longo prazo nos fatores de formação dos agregados, pois esta prática expõe parte do solo subsuperficial na superfície em ambiente com diferentes níveis e ciclos de umedecimento e secagem (PAUSTIAN et al., 1997). O uso de máquinas agrícolas sem critério pode causar grandes prejuízos, como a desestruturação dos solos, acarretando uma série de mudanças indesejáveis nas suas propriedades físicas, evidenciadas pela compactação, principalmente, quando o preparo do solo é realizado em condições de umidade inadequada.

Existem uma gama de vantagens numa escarificação bem conduzida, como: os benefícios econômicos (menor tempo por área trabalhada, redução nos custos com combustível, redução com mão de obra e menor número de equipamento a serem adquiridos) e conservacionistas (menor desestruturação do solo, redução de erosão, presença de matéria orgânica na superfície do solo dentre outros). Apesar das vantagens ele não consegue substituir totalmente a função da grade e do arado, já que os dois últimos têm melhor desestruturação e, por consequência, uma maior área contato solo-semente.

Os escarificadores foram desenvolvidos para trabalharem em sistemas conservacionistas de solo. Na evolução de uma área, deve-se obedecer às seguintes fases: o preparo inicial (desmatamento, destocamento, desenraizamento, retirada de pedras e enleiramento), preparo convencional (preparo primário e secundário), portanto, se as atividades foram realizadas corretamente, no sistema de cultivo mínimo não se deve ter a presença de tocos ou pedras na propriedade.

O escarificador é um implemento que prepara o solo sem revolvê-lo (BELLÉ et al., 2014), desagregando menos o solo, já que este atinge as zonas de fratura do solo e não inverte a leiva com o diferencial de descompactar camadas mais profundas do que o arado, embora o escarificador trabalhe na mesma profundidade que o arado de disco, o mesmo tem necessidade energética 60% inferior ao arado (MARTUCHI, 1985), quando comparado com os outros equipamentos de preparo de solo, possui

uma menor exigência energética para o seu funcionamento (SALVADOR; MION; BENEZ, 2009).

É importante ressaltar que a escarificação do solo não é uma técnica adequada para todos os tipos de solos e situações. O uso excessivo pode causar compactação, perda de nutrientes e erosão do solo, resultando em impactos negativos na produção das culturas (REICHERT et al., 2010). Portanto, a escarificação do solo deve ser realizada de forma criteriosa, considerando as características do solo e as práticas de manejo adotadas, visando minimizar os impactos negativos e maximizar os benefícios para a produção agrícola e ambiental.

Perante esses resultados, verifica-se a necessidade de mais pesquisas, em campo, quanto ao nível e, ou, estado de compactação que alteram o rendimento das culturas, bem como determinar a época e as práticas para realizar intervenções mecânicas na tentativa de amenizar os efeitos da compactação (MAZURANA et al., 2011).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Descrição da área experimental

O experimento foi realizado em área agrícola experimental no município de Jaboticabal/SP no período de novembro a abril do ano de 2020/2021, com semeadura no início de novembro de 2021. A área é próxima das coordenadas geodésicas de latitude 21°14' S e longitude 48°16' W, apresentando altitude local de 560 m com 4% de declividade média. A classificação climática para a região, segundo Köppen (1928), é do tipo Cwa: clima mesotérmico de inverno seco, na qual a temperatura média do mês mais quente é superior a 22 °C e a do mês mais frio inferior a 18 °C. A precipitação média anual varia de 1.100 mm a 1.700 mm. Os dados de precipitação, temperaturas máximas, mínimas e temperatura média, registrados na Estação Meteorológica do Departamento de Engenharia e Ciências Exatas da UNESP/ Jaboticabal-SP no período de condução do experimento (Figura 1).

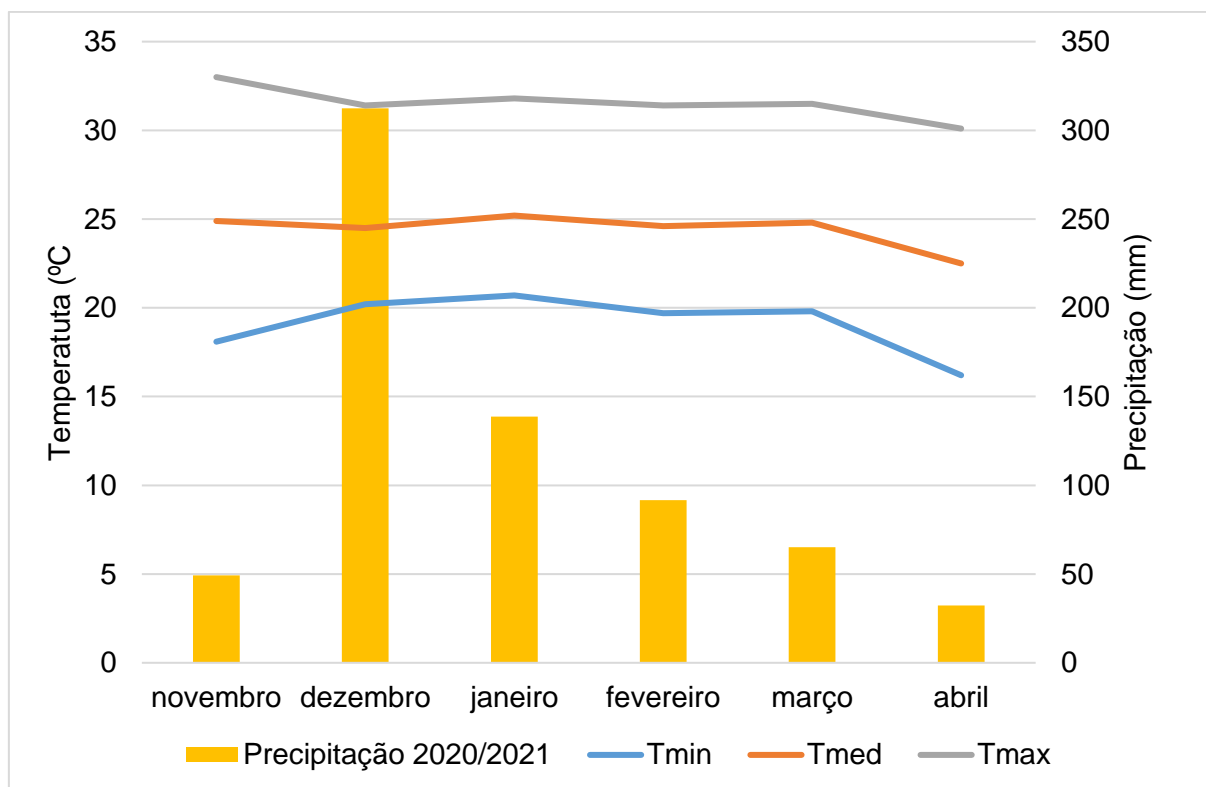


Figura 1. Precipitação, temperatura máxima, mínima e média durante a condução do experimento. Jaboticabal, ano agrícola 2020/2021. **Fonte:** Elaboração própria a partir de dados do Departamento de Engenharia e Ciências Exatas, FCAV – UNESP, Jaboticabal.

O solo da área experimental é classificado como Latossolo vermelho eutroférico típico, textura argilosa, A moderado, caulinitico-oxídico (LVef) (ANDRIOLI; CENTURION, 1999) com distribuição de partículas (areia, 200 g.kg⁻¹; silte, 290 g.kg⁻¹; e argila, 510 g.kg⁻¹). A área do experimento é utilizada a mais de vinte anos em sistema plantio direto e durante esse período vem sendo adotado consórcio, sucessão e rotação de diversas espécies, tanto para produção de grãos quanto para produção de cobertura do solo. As principais culturas cultivadas nos últimos anos para a produção de grãos foram o milho e a soja.

As parcelas experimentais foram dimensionadas com 10 m de largura e 20,0 m de comprimento espaçadas por carregadores de 15 m. Foram implantadas 24 unidades experimentais, compostas por nove fileiras de milho espaçadas à 45 cm. A área útil das parcelas foram duas fileiras com 2 m de comprimento cada (Figura 2).

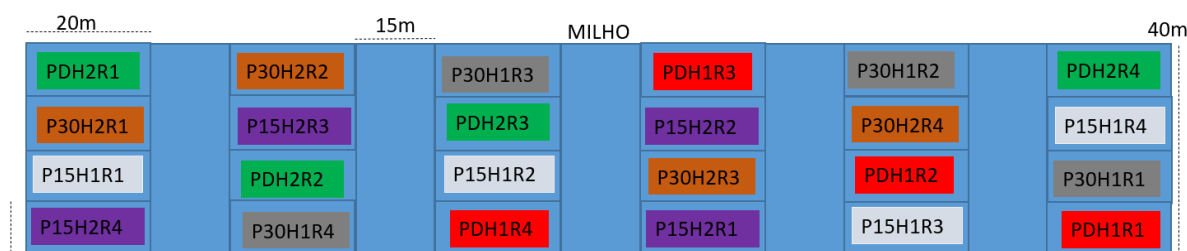


Figura 2. Croqui da área experimental. **Fonte:** de autoria própria.

3.2 Análise Estatística

O delineamento experimental adotado foi em blocos ao acaso com seis tratamentos em esquema 3x2, com quatro repetições, sendo três sistemas de preparo do solo e dois híbridos de milho, totalizando vinte e quatro unidades experimentais (Tabelas 1 e 2).

Tabela 1. Análise de variância para o delineamento em blocos ao acaso em esquema fatorial (3x2).

FATORES DE VARIAÇÃO	G.L.
Preparo(P)	2
Híbridos (H)	1
P x H	2
Blocos	3
Resíduo	15
Total	23

Tabela 2. Tratamentos avaliados

TRATAMENTOS	DESCRIÇÃO
P1H1	Sistema plantio direto com milho P4285VYHR
P1H2	Sistema plantio direto com milho MG593PWU
P2H1	Escarificação a 15 cm de profundidade com milho P4285VYHR
P2H2	Escarificação a 15 cm de profundidade com milho MG593PWU

P3H1	Escarificação a 30 cm de profundidade com milho P4285VYHR
P3H2	Escarificação a 30 cm de profundidade com milho MG593PWU

Os dados foram submetidos ao Teste F e, quando necessário, foi aplicado o Teste de Tukey ($p < 0,05$) para comparação das médias.

3.3 Variáveis analisadas

distribuição longitudinal de plantas de milho, população inicial e final de plantas de milho, altura de planta, diâmetro do colmo, número de fileira por espiga, número de grãos por fileira, massa de matéria seca do milho, produtividade do milho e massa de mil grãos.

3.4 Material utilizado e métodos de avaliação

Para a semeadura foram utilizadas sementes de milho híbrido Pioneer cultivar P4285VYHR e milho Morgan MG593PWU visando população de 65 mil plantas ha^{-1} , com três sistemas de preparo (sistema plantio direto, escarificação à 15 cm e escarificação à 30 cm). A densidade de semeadura correspondente foi de 2,9 sementes m^{-1} levando em consideração o poder de germinação e pureza. Antes da semeadura do milho, foi realizada a dessecação das plantas daninhas presentes na área experimental com 2,2 kg ha^{-1} de Glifosato (i.a) em área destinada ao plantio direto.

Para o processo mecanizado de preparo do solo e semeadura do milho foi utilizado um trator (4x2 TDA), com potência máxima de 110,28 kW (150 cv) no motor na rotação de 2000 rpm, trabalhando na marcha 2ª H, velocidade 6,5 km h^{-1} . Com distribuição de massa de 40% dianteira e 60% traseira de acordo com operações médias, com relação de 56 kg cv^{-1} , pneus dianteiros de 18.4-26 R1, pressão de

inflação de 124 kPa (18 psi), pneus traseiros de 24.5-32 R1, pressão de inflação de 152 kPa (22 psi) (Figura 3).



Figura 3. Trator utilizado no preparo e semeadura do experimento. **Fonte:** de autoria própria.

Para escarificação do solo foi utilizado o escarificador AST/MATIC 450 com sete hastes, largura útil de 280 cm peso de 2115 kg equipado com discos de corte de palha e rolo destorroador (Figura 4).



Figura 4. Escarificador utilizado no preparo do solo. **Fonte:** de autoria própria.

Para a semeadura do milho utilizou-se semeadora-adubadora de arrasto, de 9 linhas, com disco pneumático de dosagem de sementes, distribuidor helicoidal de fertilizante, configurada para semeadura direta, com disco de corte frontal de 17", sulcador do tipo haste, trabalhando na profundidade de 0,10 m e regulado para deposição do adubo a 0,08 m, discos duplos desencontrados de 15" para deposição das sementes a 0,05 m de profundidade, e rodas compactadoras em "V", configurada para nove fileiras espaçadas por 0,45 m (Figura 5).



Figura 5. Semeadora-adubadora utilizada na semeadura do experimento. **Fonte:** de autoria própria.

3.4.1 Resistência mecânica do solo a penetração (RMSP)

A resistência mecânica do solo à penetração (RMSP) foi obtida por meio de penetrômetro de impacto para avaliar quais as profundidades do solo seriam preparadas com escarificador (Stolf et al. 2014). Foi aferida a resistência mecânica do solo à penetração de forma aleatória em dez pontos amostrais à profundidade de 50 cm, e computadas os números de batidas realizadas no penetrômetro no intervalo de 0 à 25 cm de profundidade e de 25 à 50 cm. Os valores médios para cada profundidade foram de 3,5 e 6,6 Mpa, respectivamente. De acordo com os dados obtidos foi determinado que os preparos seriam realizados nas profundidades de 15 e 30 cm; abaixo das camadas com resistência mecânica a penetração avaliada.

3.4.2 Número de dias de emergência

Para a determinação do número médio de dias para emergência das plântulas de milho, foram feitas contagens diárias desde a primeira plântula emergida até a estabilização da contagem, na área útil de cada parcela experimental. Considerou-se como plântula emergida aquela que possibilitou visualização de qualquer de suas partes, independentemente do local de observação.

Efetou-se o cálculo do número médio de dias para a emergência de plântulas de milho de acordo com a equação proposta por Edmond e Drapala (1958), equação 1.

$$M = \frac{[(N1G1)+(N2G2)+\dots+(NnGn)]}{(G1+G2+\dots+Gn)} \quad (1)$$

Em que,

M = Número médio de dias para emergência das plântulas de milho;

N1 = Número de dias decorridos entre a semeadura e a primeira contagem de plântulas;

G1 = Número de plantas emergidas na primeira contagem;

N2 = Número de dias decorridos entre a semeadura e a segunda contagem;

G2 = Número de plântulas emergidas entre a primeira e a segunda contagem;

Nn = Número de dias decorridos entre a semeadura e a última contagem de plântulas; e

Gn = Número de plântulas emergidas entre a penúltima e última contagem.

3.4.3 Profundidade de semente

Para a profundidade de semente foram coletadas três plântulas por parcela e aferida a distância da semente ainda preza a radícula ao colo da plântula (Figura 6).



Figura 6. Avaliação de profundidade de semente. **Fonte:** Queiroz, 2019.

3.4.4 Distribuição longitudinal de plantas de milho

A distribuição longitudinal na fileira de semeadura foi determinada logo após a estabilização da emergência, medindo-se a distância entre todas as plântulas de milho existentes na área útil de cada parcela experimental.

Os espaçamentos entre plântulas (X_i) foram avaliados conforme classificação adaptada de Kurachi et al. (1989), determinando-se o percentual de espaçamentos correspondentes às classes normais ($0,5 X_{ref} < X_i < 1,5 X_{ref}$), múltiplos ($X_i \leq 0,5 X_{ref}$) e falhos ($X_i \geq 1,5 X_{ref}$), baseado em espaçamento de referência (X_{ref}) de acordo com a regulagem da semeadora-adubadora. A semeadora foi regulada para distribuir 2,92 sementes m^{-1} no espaçamento de 45 cm. Desta forma foram considerados para o espaçamento como normais o espaço entre plântulas de 0,17 a 0,51 m, duplos os valores inferiores a 0,17 e falhos os acima de 0,51 m.

3.4.5 População inicial e final de plantas de milho

Para estas avaliações, foram contadas as plantas presentes na área útil da parcela. Os valores encontrados foram extrapolados para número de plantas ha^{-1} . Para população inicial foi considerada a população logo após a estabilização da

emergência de plântulas e para a população final foi considerada a população de plantas no dia da colheita.

3.4.6 Altura de planta, altura da inserção da primeira espiga e diâmetro do colmo

A altura média das plantas de milho foi determinada pela medição, com régua graduada em centímetros, da distância entre o colo da planta até a inserção da folha bandeira. Foram tomadas medidas de três plantas da área útil da parcela no estágio reprodutivo do milho. A altura de inserção da espiga foi determinada pela medição, com régua graduada em centímetros, medindo a distância entre o colo da planta até a base da primeira espiga, avaliada nas mesmas plantas citadas anteriormente. O diâmetro médio do colmo, situado acima do primeiro nó das raízes adventícias, foi mensurado por meio de paquímetro. A média dos valores de maior e menor diâmetro foi calculada, tomando como base as mesmas plantas (Figuras 7 e 8).



Figura 7. Avaliação de altura de planta e altura de inserção de primeira espiga. **Fonte:** Queiroz, 2019.



Figura 8. Avaliação do diâmetro do colmo. **Fonte:** Queiroz, 2019.

3.4.7 Número de fileira por espiga, número de grãos por fileira

Para essas avaliações foram contados o número de fileiras e o número de grãos por fileira de cinco espigas em cada parcela, escolhidas aleatoriamente dentro da área útil, Figura 9.



Figura 9. Avaliação de número de fileiras por espiga, e número de grãos por fileira. **Fonte:** Queiroz, 2019.

3.4.8 Massa de matéria seca do milho

Foram pesadas duas plantas sem as espigas por parcela, obtendo-se assim o peso da massa de matéria verde da palhada. Foi retirada amostra e submetida à secagem em estufa com circulação forçada de ar, a 65 °C até massa constante, determinando-se o teor de água, e, posteriormente, foi realizado o cálculo da produção de massa de matéria seca de palhada por hectare.

3.4.9 Produtividade do milho

Para esta avaliação, foram coletadas as espigas da área útil de cada parcela e as mesmas foram trilhadas com auxílio de uma trilhadora mecânica. Os grãos foram separados, pesados e os valores corrigidos para a base úmida de 13%, baseadas nas Regras de Análise de Sementes BRASIL (1992) e calculada conforme equação 2.

$$P = I \times \frac{100-U}{100-13} \quad (2)$$

Em que,

P = massa de grãos a 13% de umidade, em kg

U = teor de água atual dos grãos, em %

I = massa inicial da amostra

Após transformar a massa dos grãos à base de 13%, a produtividade de grãos foi transformada para kg ha⁻¹.

Para determinar a massa de mil grãos foi feita a contagem ao acaso de oito repetições de cem grãos (BRASIL, 1992), que tiveram suas massas determinadas e ajustadas para 13% de teor de água.

3.4.10 Patinagem dos rodados da semeadora, patinagem dos rodados traseiros do trator, velocidade de deslocamento e capacidade de campo operacional (CCO)

A patinação dos rodados da semeadora foi em função do perímetro da roda e o percurso na parcela, ou seja, o número de voltas teóricas, obtida pelo perímetro da roda, em relação ao número de voltas reais, equação 3.

$$PS = (VR - VT) / VR \times 100 \quad (3)$$

Em que,

PS – patinação do rodado motriz da semeadora (%);

VR – voltas reais da roda motriz da semeadora;

VT – voltas teóricas da roda motriz da semeadora.

A patinação do trator foi determinada por meio do número de voltas dos rodados do trator com carga e sem carga, equação 4.

$$PT = (VCC - VSC) / VCC \times 100 \quad (4)$$

Em que,

PT – patinação do rodado do trator (%);

VCC – voltas das rodas do trator com carga;

VSC – voltas das rodas do trator sem carga.

A velocidade foi obtida em função do espaçamento percorrido em cada parcela, 20 m e sobre o tempo cronometrado no percurso. A capacidade de campo operacional foi obtida em função da largura de trabalho da semeadora-adubadora e da velocidade de deslocamento, equação 5, conforme Mialhe (1996).

$$CCO = LT \times V \times 0,36 \times 0,75 \quad (5)$$

Em que,

CCO – capacidade de campo operacional ($ha\ h^{-1}$);

LT – largura útil de trabalho da semeadora-adubadora (m);

V – velocidade real de deslocamento (m s^{-1});

0,36 – fator de conversão de unidade;

0,75 – eficiência semeadora.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Parâmetros fitotécnicos do milho

Os dados de qualidade da semeadura do milho, apresentados na Tabela 3, demonstram que a semeadura de diferentes híbridos de milho, por si só, não interferiu no número de dias de emergência, na profundidade de semeadura e na distribuição longitudinal de plantas. E os preparos de solo também não interferiram nos parâmetros.

Tabela 3. Valores médios para número de dias de emergência, profundidade de sementes e distribuição longitudinal.

Causas de Variação		Nº dia Emergência	Profundidade semente cm	Distribuição normal (%)	Distribuição falha (%)	Distribuição dupla (%)
Híbrido (H)	H1	7,538	4,250	88,301	4,090	7,607
	H2	7,540	4,433	87,78	6,401	5,816
Preparo (P)	PD	7,543	4,506	89,06	4,206	3,218
	ES 15	7,545	4,225	93,14	3,636	6,730
	ES 30	7,530	4,293	81,91	7,896	10,187
Valor de F	H	0,073 ^{NS}	0,541 ^{NS}	0,009 ^{NS}	0,603 ^{NS}	0,140 ^{NS}
	P	1,78 ^{NS}	0,444 ^{NS}	1,426 ^{NS}	0,805 ^{NS}	0,706 ^{NS}
	H x P	1,19 ^{NS}	0,575 ^{NS}	0,511 ^{NS}	0,751 ^{NS}	0,668 ^{NS}
DMS	P	0,019	0,541	11,71	6,344	10,205
	H	0,029	0,808	17,49	9,474	3,778
CV (%)		0,3	14,83	15,29	138,99	174,73

* ($p < 0,05$); ^{NS} (não significativo) DMS- diferença mínima significativa; CV – coeficiente de variação. PD – plantio direto; ES 15 – escarificação à 15 cm; ES 30 – escarificação à 30 cm

Os dados de número de dias de emergência estão uniformes, formando um estande de plantas homogêneo entre os tratamentos avaliados. Observa-se que o coeficiente de variação (CV) é baixo, conforme Judice (2000), indicando dados bem semelhantes dentro da variável analisada. Estudos com diferentes tipos de mecanismos sulcadores do solo, no momento da semeadura, demonstram que o número de dias de emergência não é alterado, desde que outros fatores, como velocidade de deslocamento, não tenham sido associados ao tratamento (RINALDI et al, 2019).

No presente estudo, mesmo com diferentes modalidades de preparo, a semeadura conseguiu manter a uniformidade da profundidade de deposição das sementes, conseqüentemente influenciando também na uniformidade do número de dias de emergência. Os dados corroboram com estudo que avaliou a semeadura do arroz em diferentes preparos (preparo convencional e escarificação do solo), associados a diferentes escalonamentos de marcha do trator, e conclui que a profundidade de semeadura não foi afetada pelas modalidades de preparo, apresentando profundidade de semeadura em torno de 0,7 m (AMORIM et al., 2019).

A distribuição longitudinal de plantas não sofreu alterações diante dos tratamentos avaliados. E, de acordo com outros estudos, o sistema de preparo não influenciou a qualidade de distribuição de sementes, sendo a velocidade de deslocamento um dos fatores que interferem diretamente na qualidade da distribuição das sementes no solo (SANTOS et al., 2011; BILIBIO e JESUS, 2018; GONÇALVES, 2019).

Observa-se que os valores de CV, para os espaçamentos falhos e duplos, foram bem altos, acima de qualquer coeficiente aceitável e indicados como normal dentro da estatística. De acordo com Judice (2000), coeficientes de variação acima de 30% são considerados altos. Porém, essa disparidade no CV, dentro dessas variáveis analisadas, pode ser até desejável, levando-se em consideração que o esperado é que tenhamos valores elevados e uniformes em espaçamentos normais de plantas e não em espaçamentos falhos e duplos. No presente estudo, em algumas parcelas, os valores de espaçamentos duplos e/ou falhos foi zero, causando essa alta variação entre os dados. Altos coeficientes de variação para espaçamentos falhos e duplos também foram observados em outros estudos, com dados de coeficiente de variação acima de 25%, indicando que isso é comum para a variável de espaçamentos falhos e duplos (REIS et al, 2007; SANTOS et al, 2011; ARCOVERDE et al, 2016; FERREIRA et al, 2019; QUEIROZ, 2019).

Para os dados de altura de planta, diâmetro de colmo, número de grãos por fileira e número de fileira por espiga não foram apresentadas diferenças para as duas

variáveis estudadas. Os híbridos do milho e as modalidades de preparo não interferiam nos parâmetros fitotécnicos da cultura (Tabela 4).

Tabela 4. Valores médios para altura de planta, diâmetro de colmo, número de grãos por fileira e número de fileiras da espiga do milho.

Causas de Variação		Altura planta (m)	Diâmetro do colmo cm	Nº grão por fileira	Nº de fileira por espiga
Híbrido (H)	H1	2,73	23,85	38,41	15,83
	H2	2,50	23,71	37,66	15,16
Preparo (P)	PD	2,49	23,48	38,75	15,50
	ES 15	2,45	23,83	37,50	15,25
	ES 30	2,45	24,03	37,87	15,75
Valor de F	H	2,90 ^{NS}	0,10 ^{NS}	0,28 ^{NS}	1,11 ^{NS}
	P	0,33 ^{NS}	0,62 ^{NS}	0,27 ^{NS}	0,20 ^{NS}
	H x P	1,47 ^{NS}	0,22 ^{NS}	0,09 ^{NS}	0,90 ^{NS}
DMS	P	0,08	0,87	3,01	1,34
	H	0,12	1,31	4,50	2,01
CV (%)		3,88	4,25	9,12	9,99

*($p < 0,05$); ^{NS} (não significativo) RMSP- resistência mecânica do solo a penetração, DMS- diferença mínima significativa; CV – coeficiente de variação.

De acordo com estudos já realizados, os parâmetros fitotécnicos da cultura do milho não estão relacionados diretamente com a profundidade de semeadura ou sistema de preparo do solo, uma vez que são fatores ligados à genética da planta e podem sofrer interferência quando a cultura é submetida a condições ambientais adversas, ou quando o fator genético do híbrido propicia tal alteração. Fatores como arranjo espacial, distribuição longitudinal de plantas e disponibilidade de recursos como água e nutriente estariam mais relacionados a alterações da altura de planta, diâmetro de colmo, número de grão por fileira e número de fileira por espiga. (OLIVOTO et al., 2018; BATISTA et al., 2019; SANTOS et al., 2019).

Porém, no presente estudo, os híbridos possuíam aptidões genéticas semelhantes e os diferentes sistemas de preparo não interferiam nas condições de distribuição de sementes em espaçamento e profundidade, além de regularidade na

precipitação de chuva nos períodos críticos do desenvolvimento da cultura (Figura 1), possibilitando melhor aproveitamento dos recursos naturais como nutrientes e luz solar.

Na Tabela 5 estão apresentados os valores médios de população inicial, população final, matéria seca e produtividade da cultura do milho. Para as variáveis população final, matéria seca e produtividade não foram observadas diferenças dentre os parâmetros avaliados. Apenas a variável de população inicial apresentou diferença, de acordo com os híbridos avaliados, com maior valor médio para o híbrido H2.

Tabela 5. Valores médios para população inicial, população final, matéria seca e produtividade.

Causas de Variação		População Inicial (unidade)	População final (unidade)	Matéria seca (Mg ha ⁻¹)	Produtividade (Mg ha ⁻¹)
Híbrido (H)	H1	68.132b	67.592	11,70	10,22
	H2	73.302a	66.203	12,87	11,02
Preparo (P)	PD	73.842	69.444	11,75	10,63
	ES 15	68.055	64.583	12,42	10,70
	ES 30	70.254	66.666	12,69	10,53
Valor de F	H	6,010*	0,240 ^{NS}	1,071 ^{NS}	0,563 ^{NS}
	P	2,559 ^{NS}	0,986 ^{NS}	0,245 ^{NS}	0,009 ^{NS}
	H x P	0,178 ^{NS}	0,080 ^{NS}	0,525 ^{NS}	0,934 ^{NS}
DMS	P	4.494	6.045	2,41	2,258
	H	6.711	9.027	3,60	3,372
CV (%)		7,30	10,39	22,56	24,43

* ($p < 0,05$); ^{NS} (não significativo), DMS- diferença mínima significativa; CV – coeficiente de variação. PD – Plantio direto; ES 15 – escarificação à 15 cm; ES 30 – escarificação à 30 cm.

Os dados de população inicial, apesar de terem apresentado diferença entre os híbridos avaliados, não interferiram nos valores de população final de plantas. A população inicial está relacionada a fatores de emergência da semente e à deposição da mesma no solo e, como não houve diferença entre a profundidade de deposição e o espaçamento, a diferença entre a média da população inicial fica atribuída,

exclusivamente, ao híbrido H2 que apresentou maior potencial de emergência em relação ao híbrido H1. Os valores de população final estão próximos à população planejada, que foi de 65.000 planta ha⁻¹, e é esta que interfere diretamente na produtividade da cultura, pois não adianta apresentar maior população inicial se não se mantém até a colheita. Dados avaliados na cultura do milho semeado em diferentes configurações e espécie de cobertura corroboram com os dados observados no presente trabalho, não havendo diferença entre a população inicial (GARCIAL et al, 2006; ROLIM et al, 2019).

Os dados de matéria seca e produtividade de grãos de milho, apesar de não diferenciarem de acordo com os tratamentos, apresentaram valores satisfatórios e condizentes com o esperado para a cultura e população planejada e indicam que os diferentes sistemas de preparo do solo em nada interferiam nos parâmetros produtivos do milho. Autores que avaliaram o milho, em população planejada para 65.000 plantas ha⁻¹, observaram produtividade de grãos em torno de 8,89 à 9,78 Mg ha⁻¹, maiores que a média de produtividade nacional que fica em torno de 4,5 Mg ha⁻¹ (ARF et al., 2018; SOUZA et al., 2018; CONAB, 2022).

A produtividade de estudo realizado em área de sistema plantio direto comparada com aquela de áreas preparadas com diferentes configurações do escarificador não apresentou diferença entre os parâmetros produtivos do milho (HASKEL, 2020).

4.2 Desempenho operacional

Os dados de desempenho operacional, apresentados na Tabela 6, evidenciam parâmetros importantes de que o sistema de preparo do solo interfere diretamente na qualidade da operação mecanizada. Na tabela 6 são apresentados os resultados de patinagem da roda motriz da semeadora-adubadora, patinagem do rodado traseiro do trator agrícola, a velocidade de deslocamento e capacidade de campo operacional do conjunto trator semeadora.

Tabela 6. Valores médios para patinagem do rodado motriz da semeadora (PS), patinagem do rodado traseiro do trator (PRT), velocidade de deslocamento e capacidade de campo operacional (CCO).

Causas de Variação		PS (%)	PRT (%)	Velocidade (km h ⁻¹)	CCO (ha h ⁻¹)
Híbrido (H)	H1	-16,16	4,09	5,56	1,68
	H2	-16,018	4,66	5,63	1,70
Preparo (P)	PD	-9,19b	7,58a	5,25b	1,59b
	ES 15	-19,02a	2,60b	5,71a	1,73a
	ES 30	-20,05a	2,94b	5,82a	1,76a
Valor de p	H	0,9344 ^{NS}	0,6520 ^{NS}	0,5831 ^{NS}	0,5841 ^{NS}
	P	0,0002*	0,0085*	0,0032*	0,0031*
	H x P	0,2487 ^{NS}	0,8763 ^{NS}	0,5478 ^{NS}	0,5448 ^{NS}
DMS	P	5,57	3,95	0,378	0,113
	H	3,73	2,64	0,253	0,076
CV (%)		26,67	69,49	5,20	5,16

* ($p < 0,05$); ^{NS} (não significativo); DMS- diferença mínima significativa; CV – coeficiente de variação.

Os dados apresentados na tabela 6 indicam que a patinagem da semeadora-adubadora diferiu apenas para o tratamento de preparo do solo, com menores valores de patinagem da semeadora para o sistema de preparo plantio direto. Observa-se que os dados de patinagem da semeadora estão bem acima dos que se espera para uma semeadura de qualidade, independente da diferença entre os preparos. Alguns estudos que avaliaram a patinagem dos rodados motrizes de uma semeadora em sistema de preparo do solo convencional e/ou semeadura direta, em diferentes texturas do solo, encontraram valores em torno de -1 à 8%, abaixo dos apresentados neste experimento (FURLANI et al., 2008; QUEIROZ et al., 2017; AMORIM et al., 2019; FORASTIERE, 2019). De acordo com Vale et. al. (2008), avaliando o tamanho amostral ideal da patinagem de uma semeadora em sistema de preparo convencional e plantio direto, a patinagem dos rodados motrizes de uma semeadora são maiores quando estes estão em contato com o solo mobilizado, corroborando com a diferença encontrada no presente estudo.

Os valores de patinação dos rodados traseiros do trator apresentaram diferença para o tratamento de preparo do solo, com maiores valores de patinação para o sistema de plantio direto. De acordo com ASAE (1989) os dados de patinação adequados para os rodados de um trator agrícola em solos mobilizados é em torno de 11 – 13%. Observa-se que os dados encontrados no presente experimento estão abaixo dos indicados pela ASAE, porém o valor médio de 7,58% no sistema plantio direto estão bem mais próximos ao adequado do que os valores encontrados quando no solo escarificado à 15 e 30 cm.

Valores semelhante ao encontrado no sistema plantio direto foram encontrados por Amorim et al, 2019, utilizando trator de 88,32 kW (120 cv) configurado com pneus diagonais em solo mobilizado, tracionando uma semeadora de fluxo contínuo de 15 linhas. Por Machado et al. (2023) utilizando trator de 73,55 KW (100 cv) também equipado com pneus diagonais em solo com cobertura vegetal, tracionando uma semeadora de precisão de 5 linhas.

O baixo índice de patinação pode estar associado ao tamanho do trator agrícola utilizado em comparação a semeadora utilizada, embora o mesmo estivesse com os parâmetros adequados para distribuição de carga, sua potência é de 110,28 kW (150 cv), acima da requerida por uma semeadora de 9 linhas, conforme modelo utilizado, que é em torno de 66, 16 - 95,57 kW (90 - 130 cv) (JUMIL, 2023).

A velocidade de deslocamento e a capacidade de campo operacional só obtiveram resultados significativos para o fator preparo do solo. Os valores maiores de velocidade de deslocamento e capacidade de campo operacional puderam ser observados nos tratamentos de escarificação à 15 e 30 cm de profundidade.

Valores maiores de deslocamento no solo escarificado podem ser atribuídos a menor carga tratorial devido a mobilização do solo, favorecendo a maior velocidade de deslocamento e conseqüente maior capacidade de campo operacional.

Esses valores discordam de Vale et al. (2008) que, avaliando diferentes preparos do solo no processo de semeadura, observaram maiores valores de velocidade no deslocamento de um conjunto trator semeadora e na capacidade operacional quando o conjunto mecanizado foi operado no sistema plantio direto.

O que pode ser observado é que o sistema de preparo pode influenciar a velocidade de deslocamento do conjunto trator semeadora, diminuindo essa

velocidade, principalmente quando as ferramentas do conjunto mecanizado, em contato com o solo, proporcionarem maior resistência ao deslocamento do trator.

5 CONCLUSÃO

1. Os híbridos e os sistemas de preparo não interferiam nas variáveis de qualidade de semeadura, nos parâmetros fitotécnicos do milho, na produtividade de massa de matéria seca e de grãos de milho.

2. Para a área analisada e híbridos estudados não é viável realizar a escarificação do solo como método de incrementar produtividade à cultura do milho.

3. O índice de patinagem do rodado traseiro do trator obteve melhor desempenho no sistema plantio direto.

4. A velocidade de deslocamento e a capacidade de campo operacional obtiveram melhores índices quando o solo foi escarificado.

5. Considerando que os dados de produtividade não apresentaram diferença entre os tratamentos, indica-se, de acordo com parâmetros avaliados, manter o sistema plantio direto sem intervenção de escarificação.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Levando em consideração a hipótese do presente estudo, em que avaliou se a intervenção do preparo do solo, por meio da escarificação, seria benéfica para a produtividade de dois diferentes tipos de híbridos, é importante salientar que mais estudos sobre o tema devem ser realizados para que se haja indicação ou não da reforma do sistema plantio direto. Apenas um ano, um tipo de solo, dois híbridos não são suficientes para afirmar que a prática não seja vantajosa. O experimento deve ser repetido em diferentes condições e regulagens do conjunto mecanizado para que mais conclusões sejam tomadas sobre o assunto.

REFERENCIAS

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

AGUIAR, E. B.; SCHLEDER, E. J. D.; SANTOS BRITO, V. H.; AGUENA, F. A. F. Plantio Direto na Cultura da Mandioca. **UNICIÊNCIAS**, v. 25, n. 1, p. 02-09, 2021.

AIKINS, K.A.; BARR, J.B.; UCGUL, M.; JENSEN, T.A.; ANTILLE, D.L.; DESBIOLLES, J. M. A. No-tillage furrow opener performance: a review of tool geometry, settings and interactions with soil and crop residue. **Soil Tillage Research**, v.58, n. 7, p.603–621, 2020.

ALAOUI, A.; LIPIEC, J.; GERKE, H. H. A review of the changes in the soil pore system due to soil deformation: a hydrodynamic perspective. **Soil and Tillage Research**, v. 115–116, s.n., p. 1–15, 2011.

ALMEIDA, M., CUNHA, M. B. M., OLIVEIRA, M. S., GOMES, K. J. S., DA SILVA PAZ, J. A. A., CARNEIRO, M. V. B., SILVESTRE, F. E. R. A COMPACTAÇÃO DO SOLO E OS EFEITOS NO CRESCIMENTO INICIAL DO MILHO. **Revista Ciência Agrícola**, v. 19, n. 2, p. 95-100, 2021.

ANDRIOLI, I.; CENTURION, J. F. Levantamento detalhado dos solos da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 27., Brasília, 1999. **Anais...** Brasília, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1999. p.1-4 CD ROM.

AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS. Agricultural tractor test code. In: **ASAE Standards1989**: standards engineering practices data. San Joseph, 1989. p. 44-48.

AMORIM, M. Q.; DE ARAUJO NICOLAU, F. E.; ARAUJO MENDONÇA, C.; SANTOS, P. R. A.; CHIODEROLI, C. A. Desempenho operacional do conjunto trator semeadora adubadora de fluxo contínuo em função da pressão de inflação dos rodados e velocidade de deslocamento. **Energia na Agricultura**, v. 34, n. 2, p. 152-161, 2019.

AMORIM, M. Q.; CHIODEROLI, C. A.; NASCIMENTO, E. M. S.; SILVEIRA, W. M.; DA COSTA, R. G.; DINIZ, J. G. L.; BORGES, R. D. C. P. Qualidade da semeadura do arroz em função do preparo do solo e velocidade operacional do conjunto mecanizado. **Brazilian Journal of Development**, v. 5, n. 11, p. 26969-26982, 2019.

ANDRADE, A. T.; TORRES, J. L. R.; TORRES, J. L. R., PAES; J. M. V., TEIXEIRA; C. M., CONDÉ; A. B. T. Desafios do sistema plantio direto no Cerrado. **Informe Agropecuário**, v. 39, n. 302, p. 18-26, 2018.

ARAÚJO, M. A.; TORMENA, C. A.; INOUE, T. T.; COSTA, A. C. S. Efeitos da escarificação na qualidade física de um Latossolo Vermelho distroférico após treze

anos de semeadura direta. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v.28, n. 2, p. 495-504, 2004.

ARCOVERDE, S. N. S.; DE SOUZA, C. M. A.; CORTEZ, J. W.; GUAZINA, R. A.; MACIAK, P. A. G. Qualidade do processo de semeadura da cultura do milho de segunda safra. **Revista Engenharia na Agricultura-reveng**, v. 24, n. 5, p. 383-392, 2016.

ARF, O.; MEIRELLES, F. C.; PORTUGAL, J. R.; BUZETTI, S.; DE SÁ, M. E.; RODRIGUES, R. A. F. Benefícios do milho consorciado com gramínea e leguminosas e seus efeitos na produtividade em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 17, n. 3, p. 431-444, 2018.

ARTUZO, F. D.; FOGUESATTO, C. R.; MACHADO, J. A. D.; DE OLIVEIRA, L.; SOUZA, Â. R. L. O potencial produtivo brasileiro: uma análise histórica da produção de milho. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 12, n. 2, p. 515-540, 2019.

AUGUSTO, M. V. S.; DEMETRIO, G. B.; LAJUS, C. R.; AZEVEDO-RIBEIRO, P. F.; DUARTE, E. R.; SAUER, A. V. Preservação de Recursos Naturais Através de Práticas de Manejo e seus Impactos na Qualidade Física do Solo. **Uniciencias**, v.26, n.2, p.108-119, 2022.

BATISTA, V. V.; OLIGINI, K. F.; GIARETTA, R.; RABELO, P. R.; ADAMI, P. F.; LINK, L. Densidade de plantas e doses de nitrogênio no cultivo de milho safrinha no Paraná. **Agrarian**, v. 12, n. 45, p. 296-307, 2019.

BELLÉ, M. P.; ALONÇO, A. DOS. S.; FRANCETTO, T. R.; ROSSATO, F. P.; FRANCK, C. J. CARPES, D. P. Demanda energética e mobilização do solo com o uso de escarificadores em sistemas de semeadura direta. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, n.5, p. 551-558, 2014.

BENJAMIN, J. G.; KARLEN, D. L. LLWR Techniques for Quantifying Potential Soil Compaction Consequences of Crop Residue Removal. **Bio Energy Research**, v.7, s.n., p. 468–480, 2014.

BENJAMIN, J. G.; NIELSEN, D. C.; VIGIL, M. F. Quantifying effects of soil conditions on plant growth and crop production. **Geoderma**, v. 116, n. 1-2, p.137–148, 2003.

BERTOLLINI, E. V.; GAMERO, C. A.; SALATA, A. DA. C.; PIFFER, C. R. Antecipação da adubação de semeadura do milho em dois sistemas de manejo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, v.32, n.1, p. 2355-2366, 2008.

BEULTER, A. N.; CENTURION, J. F. Compactação do solo no desenvolvimento radicular e na produtividade da soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, n. 6, p.581-588, 2004.

BILIBIO, M. J.; JESUS, M. P. **Desempenho agrônomico do milho em sistema de manejo do solo**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em

Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, MS, 2018.

BLANCO-CANQUI, H.; LAL, R. Crop residue removal impacts on soil productivity and environmental quality. *Critical Reviews in Plant Science*, v.28, n. 3, p.39–163, 2009.

BREVIK, E. C.; HOMBURG, J. A.; SANDOR, J. A. Chapter one – soils, climate, and ancient civilizations. **Developments in Soil Science**, v. 35, n.1, p. 1-28, 2018.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. **Regras para análise de sementes**. Brasília: SNDA/ DNPV/CLAV, 1992. 365p.

CALONEGO, J. C.; RAPHAEL, J. P.; RIGON, J.P.; OLIVEIRA NETO, L.; ROSOLEM, C. A. Soil compaction management and soybean yields with cover crops under no-till and occasional chiseling. **European Journal of Agronomy**, v. 85, n. 1, p. 31-37, 2017.

CALONEGO, J. C.; ROSOLEM, C. A. Estabilidade de agregados do solo após manejo com rotações de culturas e escarificação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, n.4, p.1399-1407, 2008.

CAMARA, R. K., KLEIN, V. A. Propriedades físico-hídricas do solo sob plantio direto escarificado e rendimento da soja. **Ciência Rural**, v. 35, p. 813-819, 2005.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da safra brasileira de grãos., v.10, n.2, p. 46-56, 2023.

CARVALHO FILHO, A.; CENTURION, J. F.; SILVA, R.P DA.; FURLANI, C. E. A.; CARVALHO, L. C. C. Métodos de preparo do solo: alterações na rugosidade do solo. **Engenharia Agrícola**, v. 27, n. 1, p. 229-237, 2007.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da safra brasileira de grãos, Safra 2021/2022, 12º levantamento. Disponível em: <http://www.conab.gov.br>. Acesso em: 26 set. 2022.

CONTE, O.; LEVIEN, R.; TREIN, C.R.; XAVIER, A. A. P.; DEBIASI, H. Demanda de tração, mobilização de solo na linha de semeadura e rendimento da soja em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, n. 10, p. 1254–1261, 2009.

CORTEZ, J. W.; ALVES, S.; DA, A. D.; MOURA, M. R. D. DE; OLSZEWSKI, N.; NAGAHAMA, J.; De, H. Physical properties of yellow argisol in the semiarid region of northeastern Brazil under tillage systems. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, n. 4, p. 1207–1216. 2011.

Cotrim, F. B. et al. Compactação do solo: conceitos, causas e consequências. **Bahia Agrícola**, v. 13, n. 2, p. 33-45, 2020.

CRUZ, J. C.; ALVARENGA, R. C.; NOVOTRY, E. H.; PEREIRA FILHO, I. A.; SANTANA, D. P.; PEREIRA, F. T. F.; HERNANI, L. C. Cultivo do milho: sistema plantio direto. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2002. 7p. (Comunicado Técnico, 51).

CRUZ, J. C.; PEREIRA FILHO, I. A.; ALVARENGA, R. C.; GONTIJO NETO, M. M.; VIANA, J. H. M.; OLIVEIRA, M. F. DE; SANTANA, D. P. Manejo da cultura do milho. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2006. 12 p. (Circular Técnica, 87).

CUSTODIO, C. J. S.; FERREIRA, J. O.; SANTOS, J. L. S.; CAMACHO, H. A. M.; ALBINO, J. L. D.; RODRIGUES, L. C. Fatores que contribuíram para o crescimento do milho no Brasil. **Revista Eletrônica Interdisciplinar**, v. 1, n. 15, p. 174-179, 2016.

DAMASCENO, L. A. **Produtividade do milho em sucessão a plantas de cobertura de solo**. 2019. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Amazonas.

DANG, Y.P.; BALZER, A.; CRAWFORD, M.; RINCON-FLOREZ, V.; LIU, H.; MELLAND, A. R.; ANTILLE, D.; KODUR, S.; BELL, M. J.; WHISH, J. P. M.; LAI, Y.; SEYMOUR, N.; CARVALHAIS, L. C.; SCHENK, P. Strategic tillage in conservation agricultural systems of north-eastern australia: why, where when and how. **Environmental Science and Pollution Research**, v.25, n.2, p.1000–1015, 2018.

DERPSCH, R.; FRIEDRICH, T.; KASSAM, A.; LI, H. Current status of adoption of no-till farming in the world and some of this main benefits. **Journal of Agricultural and Biological Engineering**, v. 3, n. 1, p. 1-25, 2010.

DIAS JUNIOR, M.S.; PIERCE, F. J. O processo de compactação do solo e sua modelagem. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 20, n. 2, p. 175-182, 1996.

DOS SANTOS, R. C.; SOUZA, C. M.; REZENDE, M. J.; LANI, J. L.; CECON, P. R.; GOMES, M. A. Proposta metodológica para o cálculo de espaçamento entre sulcos de mulching vertical. **Revista Ceres**, v. 60, n. 4, p. 552-562, 2013.

DRESCHER, M. S.; REINERT, D. J.; DENARDIN, J. E.; GUBIANI, P. I.; FAGANELLO, A.; DRESCHER, G. L. Duração das alterações em propriedades físico-hídricas de Latossolo argiloso decorrentes da escarificação mecânica. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, n. 2, p. 159-168, 2016.

DRESCHER, M. S.; REINERT, D. J.; DENARDIN, J. E.; GUBIANI, P. I.; FAGANELLO, A.; DA SILVA, B. R.; ZARDIN, M. C. Fertilizer shanks to promote soil decompaction in the seeding operation. **Cienc. Rural**, v.47, n. 3, p. 1–8, 2017.

EDMOND, J.B.; DRAPALA, W.J. The effects of temperature, sand and soil, and acetone on germination of okra seed. **Proceedings of the American Society for Horticultural Science**, v. 71, n. 5, p. 428-434. 1958.

FACHIN, P. A.; THOMAZ, E. L. A escarificação do solo em sistema de plantio direto afeta a estabilidade de agregados e o teor de matéria orgânica em latossolo vermelho. **Caminhos de Geografia**. v.21, n. 77, p. 18-28, 2020.

FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D. **Produção de milho**. 2. ed. Piracicaba: Livro cereas, p. 21-97, 2004.

FAO – Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura. Status of the World's Soil Resources. FAO, Rome, Italy, 2015.

FEBRAPDP – Federação Brasileira do Sistema de Plantio Direto. Disponível em: <<https://plantiodireto.org.br/>>. Acesso em: 16 fev. 2023.

FERREIRA, F. M.; OSS, L. L.; CARNEIRO, M. A.; LITTER, F. A. Distribuição longitudinal na semeadura do milho com semeadoras de precisão mecânica e pneumática. **Nativa**, v. 7, n. 3, p. 296-300, 2019.

FOLONI, J. S. S., CALONEGO, J. C., & LIMA, S. L. D. Efeito da compactação do solo no desenvolvimento aéreo e radicular de cultivares de milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 38, p. 947-953, 2003.

FORASTIERE, P. R. Desempenho operacional de um conjunto trator-semeadora-adubadora em plantio direto da soja. 2019, 79P. Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa Viçosa, 2019.

FRASCA, L. L.M.; SILVA, M. A.; REZENDE, C. C.; FARIA, D. R.; LANNA, A. C.; BRITO FERREIRA, E. P.; NASCENTE, A. S.; Utilização de plantas de cobertura como alternativa de manejo sustentável. **RECIMA21-Revista Científica Multidisciplinar- ISSN 2675-6218**, v. 2, n. 7, p. e27571-e27571, 2021.

FURLANI, C. E. A., SILVA, R. P. D., CARVALHO FILHO, A., CORTEZ, J. W., & GROTTA, D. C. C. Semeadora-adubadora: exigências em função do preparo do solo, da pressão de inflação do pneu e da velocidade. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 345-352, 2008.

GARCIA, L.C.; JASPER, R.; JASPER, M.; FORNARI, A.J.; BLUM, J. Influência da velocidade de deslocamento na semeadura do milho. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.26, n.2, p.520-527, 2006.

GENNARO, L. A. Estrutura, micromorfologia e microbiologia do solo em dois sistemas de manejo. 2011. 74 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2011.

GIACOMELI, R., MARCHESAN, E., SARTORI, G. M. S., DONATO, G., SILVA, P. R. F. D., KAISER, D. R., & ARAMBURU, B. B. Escarificação do solo e sulcadores em semeadora para cultivo de milho em Planossolos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, p. 261-270, 2016.

GIRARDELLO, V. C.; AMADO, T. J. C.; NICOLOSO, R. S.; HORBE, T. A. N.; FERREIRA, A. O.; TABALDI, F. M.; LANZANOVA, M. E. Alterações nos atributos

físicos de um Latossolo Vermelho sob plantio direto induzidas por diferentes tipos de escarificadores e o rendimento da soja. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 35, n. 6, p. 2115-2126, 2011.

GIRARDELLO, V. C.; AMADO, T. J. C.; SANTI, A. L.; CHERUBIN, M. R.; KUNZ, J.; TEIXEIRA, T. G. Resistência à penetração, eficiência de escarificadores mecânicos e produtividade da soja em latossolo argissolo manejado sob plantio direto de longa duração. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, n.4, p. 1234-1244, 2014.

JUDICE, M. G. **Avaliação do coeficiente de variação em experimentos zootécnicos**. 2000. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Lavras.

GONÇALVES, E. A. **Sistemas de manejo do solo e velocidade de semeadura na cultura do milho**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, MS, 2019.

GUIMARÃES JÚNNYOR, W. S.; DE MARIA, I. C.; ARAUJO-JUNIOR, C. F.; LIMA, C. C.; VITTI, A. C.; FIGUEIREDO, G. C.; DECHEN, S. C. F. Soil compaction on traffic lane due to soil tillage and sugarcane mechanical harvesting operations. **Scientia Agricola**, v. 76, n. 6, p.509-517. 2019.

GUT, S.; CHERVET, A.; STETTLER, M.; WEISSKOPF, P.; STURNY, W. G.; LAMAND'E, M.; SCHJØNNING, P.; KELLER, T. Seasonal dynamics in wheel load-carrying capacity of a loam soil in the Swiss Plateau. **Soil Use Management**, v. 31, n.1, p. 132–141, 2015.

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, n. 2, p. 121–145, 2005.

HAMZA, M. A.; ANDERSON, W. K. Combinations of ripping depth and tine spacing for compacted sandy and clayey soils. **Soil Tillage Research**, v. 99, n. 2, p. 213–220, 2008.

HANSEL, F. D.; AMADO, T. J. C.; DIAZ, D. A. R.; ROSSO, L. H. M.; NICOLOSO, F. T.; SCHORR, M. Phosphorus fertilizer placement and tillage affect soybean root growth and drought tolerance. **Agronomy Journal**, v.109, n.6, p. 2936–2944, 2017.

HASKEL, M. K. **Atributos físicos do solo conduzidos sob escarificação mecânica, biológica e plantio direto: influência na produtividade biológica das culturas**. 2020. Dissertação de Mestrado. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

HILLEL, D. Introduction to environmental soil physics. Amsterdam: Elsevier Academic Press, p.102-112. 2004.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Levantamento Sistemático da Produção Agrícola. Dezembro de 2022.

JUMIL. Justino de Moraes Irmão S/A. Plantadoreiras. Disponível em: <<https://www.jumil.com.br/produto>> Acesso em: 04 de fev. de 2023.

KASSAM, A.; FRIEDRICH, T.; DERPSCHE, R.; KIENZLE, J. Overview of the Worldwide Spread of Conservation Agriculture. In: Field Actions Science Reports, v. 8, 2015. Online since 26, September 2015. Disponível em: <http://journals.openedition.org/factsreports/3966>

KAHLON, M. S.; CHAWLA, K. Effect of tillage practices on least limiting water range in Northwest India. **International Agrophysics**. v. 31, n. 2, p.183–194, 2017.

KELLER, T.; SANDIN, M.; COLOMBI, T.; HORN, R.; OR, D. Historical increase in agricultural machinery weights enhanced soil stress levels and adversely affected soil functioning. **Soil Tillage Research**, v. 194, n. 104293, p. 1-12, 2019.

KLEIN, V. A.; BOLLER, W. Avaliação de diferentes manejos de solo e métodos de semeadura em áreas sob sistema de plantio direto. **Ciência Rural**, v.25, n.3, p.395-398, 1995.

KOCHHANN, R. A.; DENARDIN, J. E. Implantação e manejo do sistema plantio direto. Passo Fundo, **EMBRAPA-CNPT**, 2000. 36p.

KÖPPEN, W.; GEIGER, R. Klimate der Erde. Gotha: Verlag Justus Perthes. 1928. Wall-map 150cmx200cm.

KURACHI, S.A.H.; COSTA, J.A.S.; BERNARDI, J.A.; COELHO, J.L.D.; SILVEIRA, G.M. Avaliação tecnológica de semeadoras e/ou adubadoras: tratamento de dados de ensaios e regularidade de distribuição longitudinal de sementes. **Bragantia**.v.48, n. 2, p.249-262, 1989.

LAL, R. Soil carbon sequestration and aggregation by cover cropping. **Journal of Soil and Water Conservation**, v. 70, n. 6, p. 329-339, 2015.

LEPSCH, I. F. Formação e conservação dos solos. - 2ª ed. São Paulo: Oficina de textos,2010.

LEVIEN, R.; COGO, N.P.; ROCKENBACH, C. A. Erosão na cultura do milho em diferentes sistemas de cultivo anterior e métodos de preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.14, n.1, p.73-80, 1990.

MACHADO, T. M.; VERDADEIRO, W. O.; DA SILVA RICARDO, G. F.; VALE, W. G. Desempenho de um conjunto trator-semeadora-adubadora em função do mecanismo sulcador e do tipo construtivo de pneus. **Conjecturas**, v. 23, 2023.

MARTHA JUNIOR, G.; ALVES, E.; CONTINI, E. Land-saving approaches and beef production growth in Brazil. **Agricultural Systems**, v. 110, p. 173-177, 2012

MARTUCCI, F.C. Escarificador no preparo do solo. **A Granja**, v.16, n.6, p.44-46, 1985.

MAZURANA, M.; LEVIEN, R.; MÜLLER, J.; CONTE, O. Sistemas de preparo de solo: Alterações na estrutura do solo e rendimento das culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, n.1, p.1197-1206, 2011.

MELLAND, A. R.; ANTILLE, D. L.; DANG, Y. P. Effects of strategic tillage on short-Term erosion, nutrient loss in runoff and greenhouse gas emissions. **Soil Research**, v. 55, n. 3, p.201–214, 2017.

MELLO, L. M. M.; TAKAHASHI, C. M.; YANO, E. H. Condicionamento físico do solo na linha de semeadura de milho em plantio direto: mecanismos sulcadores e rodas compactadoras. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 31., 2002, Salvador. Anais... Salvador: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2002. 1 CD-ROM.
Morgan, R. P. C. Soil erosion and conservation (second edition). Harlow: Longman Group, 2005.

MICHELON, C. J., JUNGES, E., CASALI, C. A., PELLEGRINI, J. B. R., NETO, L. R., DE OLIVEIRA, Z. B., OLIVEIRA, M. B. Atributos do solo e produtividade do milho cultivado em sucessão a plantas de cobertura de inverno. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 18, n. 2, p. 230-239, 2019.

MIALHE, L. G. **Máquinas agrícolas: ensaio & certificação**. Piracicaba: Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiroz, 1996.

MORAES, M. T. DE.; DEBIASI, H.; CARLESSO, R.; CEZAR, J.; RODRIGUES, V.; BONINI, F. Soil physical quality on tillage and cropping systems after two decades in the subtropical region of Brazil. **Soil and Tillage Research**, v.155, n. 1, p.351–362, 2016.

MOREIRA, W. H.; TORMENA, C. A.; DE LIMA, R. P.; ANGHINONI, G.; IMHOFF, S. The influence of sowing furrow opening and wetting and drying cycles on soil physical quality under no-tillage in Southern Brazil. **Soil and Tillage Research**, v. 204, p.104711, 2020.

MUNKHOLM, L. J. Tillage system and cover crop effects on soil quality: I. chemical, mechanical, and biological properties. **Soil Science Society**, v.78, n.1, p. 1–2, 2013.

NGO-CONG, D.; ANTILLE, D. L.; VAN GENUCHTEN, M. TH; NGUYEN, H.Q.; TEKESTE, M. Z.; BAILLIE, C.P.; GODWIN, R. J. A modeling framework to quantify the effects of compaction on soil water retention and infiltration. **Soil Science Society**, v. 85, n.6, p. 1931–1945, 2021.

NUNES, M. R.; DENARDIN, J. E.; PAULETTO, E. A.; FAGANELLO, A.; PINTO, L. F. S. Effect of soil chiseling on soil structure and root growth for a clayey soil under no-tillage. **Geoderma**, v.259, n. 260, p.149-55, 2015.

NUNES, M.´ARCIO. R.; KARLEN, D. L.; DENARDIN, J. E.; CAMBARDELLA, C. A. Corn root and soil health indicator response to no-till production practices. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, v.285, p. 106607, 2019.

OLIVOTO, T.; CARVALHO, I. R.; NARDINO, M.; FERRARI, M.; PELEGRIN, A. J.; SZARESKI, V. J.; SOUZA, V. Q. Caracteres morfológicos e rendimento de grãos de híbridos simples de milho em diferentes ambientes. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 17, n. 4, p. 462-471, 2018.

PAUSTIAN, K.; COLLINS, H. P; PAUL, E. A. Management controls on soil carbon. p.15-49. In: Paul, E. A, et al. (ed.) *Soil organic matter in temperature agroecosystems: Long-term experiments in North America*. Boca Raton, FL: CRC Press, 1997.

PELLENS, G. C.; LESSA, P. R.; SCHORN, L. A.; FENILLI, T. A. B. Influência da matocompetição em povoamentos jovens de *Pinus taeda* l. **Ciência Florestal**, v. 28, n. 2, p. 495-504, 2018.

PEIXOTO, D. S.; SILVA, B. M.; DE OLIVEIRA, G. C.; MOREIRA, S. G.; DA SILVA, F.; CURI, N. A soil compaction diagnosis method for occasional tillage recommendation under continuous no tillage system in Brazil. **Soil Tillage Research**. v.194, n. 1238, p.104307, 2019.

POSSAMAI, J. M.; SOUZA, C. M.; GALVÃO, J. C. C. Sistemas de preparo do solo para o cultivo do milho safrinha. **Bragantia**, v.60, n.2, p. 79-82, 2001.

PURÍSSIMO, C. Experiências do manejo de plantas daninhas no Sul/Sudeste do Brasil. In: Congresso Brasileiro de Ciência das Plantas Daninhas, 21, 1997, Caxambu. Anais... Caxambu: SBPCPD, 1997. p. 33-35.

PRAGANA, R. B.; RIBEIRO, M.R.; NÓBREGA, J. C. A.; RIBEIRO FILHO, M. R.; COSTA, J. A. Qualidade física de Latossolos Amarelos sob plantio direto na região do Cerrado piauiense. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, n. 1, p.1591-1600, 2012.

QUEIROZ, R. F. D.; MOTA, W. A. D.; MACEDO, D. X. S.; COSTA, E.; CHIODEROLI, C. A. Cargas no depósito de fertilizante de uma semeadora-adubadora e desempenho operacional1. **Revista Ciência Agronômica**, v. 48, p. 271-277, 2017.

QUEIROZ, R. F. Arranjo espacial do milho em sistema integração lavoura pecuária. 2019, 54 p. Tese (doutorado) – Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, 2019.

RAPER, R. L. Agricultural traffic impacts on soil. **Journal of Terramechanics**, v.42, p.259–280, 2005.

Reichert, J. M. et al. Compactação do solo e seu efeito sobre o desenvolvimento radicular. **Ciência Rural**, v. 40, n. 5, p. 1061-1068, 2010.

REIS, E. F.; MOURA, J. R.; DELMOND, J. G.; CUNHA, J. P. A. R. Características operacionais de uma semeadora-adubadora de plantio direto na cultura da soja (*Glycine Max (L.) Merrill*). **Revista Ciências Técnicas Agropecuárias**, v. 16, n. 3, p. 70-75, 2007.

REIS, L. S.; SILVA, E. D. DA.; BARROS, B. G. A.; OLIVEIRA, F. J. V. Compactação do solo: Uma visão agrônômica e ambiental. **Research, Society and Development**, v.11, n. 5, p.1-9, 2022.

RESCK, D. V. S.; FERREIRA, E. A. B.; FIGUEIREDO, C. C.; ZINN, Y. L. Dinâmica da matéria orgânica no Cerrado. In: Santos, G.A.; Silva, L.S.; Canellas, L.P.; Camargo, F.O., eds. Fundamentos da matéria orgânica do solo: Ecossistemas tropicais subtropicais. 2.ed. Porto Alegre, Metrópole, 2008. p.359-417.

RICHART, A.; FILHO, J. T.; BRITO, O. R.; LLANILLO, R. F.; FERREIRA, R. Compactação do solo: causas e efeitos. Semina: **Ciências Agrárias**, v. 26, n.3, p.122-128, 2005.

RINALDI, P. C. N.; DE ALVARENGA, C. B.; ZAMPIROLI, R.; SIQUEIRA RIBEIRO, W.; FERNANDES, H. C. Estabelecimento inicial da cultura do milho em função da velocidade de trabalho e dos mecanismos sulcadores da semeadora. **Acta Iguazu**, v. 8, n. 1, p. 23-31, 2019.

ROLIM, J. I. M.; NICOLAU, F. E. A.; MOTA, A. M. D.; PINTO, A. A.; CAMARA, F. T. Desenvolvimento e produtividade do milho em sistema plantio direto no cariri cearense. **Revista Engenharia na Agricultura**, v. 27, n. 2, p. 122-131, 2019.

SAFFI-HDADI, K.; DÉFOSSEZ, P.; RICHARD, G.; CUI, Y.J.; TANG, A.M.; CHAPLAIN, V. A method for predicting soil susceptibility to the compaction of surface layers as a function of water content and bulk density. **Soil and Tillage Research**, v.105, n.1, p.96-103, 2009.

SALOMÃO, P. E. A.; KRIEBEL, W.; SANTOS, A. A DOS.; MARTINS, A. C. E. A importância do sistema de plantio direto na palha para reestruturação do solo e restauração da matéria orgânica. **Research Society and Development**, v. 9, n. 1, p. 549-870, 2020.

SALVADOR, N.; MION, R. L.; BENEZ, S. H. Consumo de combustível em diferentes sistemas de preparo periódico realizados antes e depois da operação de subsolagem. **Ciência Agrotécnica**, v.33, n.3, p. 870-874, 2009.

SALES, R. P.; PORTUGAL, A. F.; MOREIRA, J. A. A.; KONDO, M. K.; PEGORARO, R. F. Physical quality of a Latosol under no-tillage and conventional tillage in the semi-arid region. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 47, n. 3, p. 429–438. 2016.

SANGOI, L.; ALMEIRADA, M. L. DE; HORN, D.; BIACNCHET, P.; GRACIETTI, M. A.; SCHMITT, A.; SCHWEITZER, C. Tamanho de semente, profundidade de semeadura e crescimento inicial do milho em duas épocas de semeadura. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.3, n.3, p.370-380, 2004.

SANTOS, A. J. M.; GAMERO, C. A.; OLIVEIRA, R. B.; VILLEN, A. C. Análise espacial da distribuição longitudinal de sementes de milho em uma semeadora-adubadora de precisão. **Bioscience Journal**, p. 16-23, 2011.

SANTOS, A. F.; DE OLIVEIRA, M. F.; JUNQUEIRA, P. D.; CORREA, L. N.; SILVA, R. P. Tratamento de sementes de milho com zinco semeadas em diferentes profundidades. **Revista Engenharia na Agricultura**, v. 27, n. 2, p. 111-121, 2019.

SEKI, A.S.; SEKI, F.G.; JASPER, S.P.; SILVA, P. R. A.; BENEZ, S. H. Effects of soil decompaction techniques in an area under a system of direct seeding. **Revista Ciência Agrônômica**, v.46, n.3, p.460–468, 2015.

SICZEK, A.; HORN, R.; LIPIEC, J.; USOWICZ, B.; LUKOWSKI, M. Effects of soil deformation and surface mulching on soil physical properties and soybean response related to weather conditions. **Soil Tillage**, v.153, p. 175-184, 2015.

SILVA, P. L. F. DA. 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, p. 024-033, 2021.

SILVA, A. P.; BALL, B. C.; TORMENA, C. A.; GIAROLA, N. F. B.; GUIMARAES, R.M.L. Soil structure and greenhouse gas production differences between row and interrow positions under no-tillage. **Scientia Agricola**, v. 71, n. 2, p.157–162, 2014.

SILVA, A.P.; IMHOFF, S.; KAY, B. Plant response to mechanical resistance and air-filled porosity of soils under conventional and no-tillage system. **Scientia Agricola**, v.61, n.4, p.451-6, 2004.

SILVA, A. R. B. DA; BENEZ, S. H. Cultivares de milho: produtividade em diferentes sistemas de manejo de solo e espaçamentos. **Energia na Agricultura**, v.20, n.2, p.77-90, 2005.

SIVARAJAN, S.; MAHARLOOEI, M.; BAJWA, S. G.; NOWATZKI, J. Impact of soil compaction due to wheel traffic on corn and soybean growth, development and yield. **Soil Tillage Research**. 175, p. 234–243, 2018.

SORIANI, R.; DOS SANTOS, E. D.; LEITE, C. A. M.; BARBOSA, C. A. C.; CHAGAS, T. L. K.; AMARAL, H. F. Avaliação dos agregados de um Latossolo Vermelho em sistema plantio direto após preparos mecânicos de subsolagem e gradagem. **Revista Terra & Cultura: Cadernos de Ensino e Pesquisa**, v. 34, n. esp., p. 103-116, 2018.

SOUZA, A. E.; REIS, J. G. M.; RAYMUNDO, J. C.; PINTO, R. S. Estudo da produção do milho no Brasil. *South American Development Society Journal*, v. 4, n. 11, p. 182, 2018.

SOUZA, D. V. L. **Efeito da escarificação do solo nos componentes de produção, produtividade e qualidade fisiológica das sementes**. 2021. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu.

STATBEL – Land en tuinbouwbedrijven. 2022. Disponível em: <https://statbel.fgov.be/nl/themas/landbouw-visserij/land-en-tuinbouwbedrijven#figure>.

STONE, L. F.; SILVEIRA, P. M. Efeitos do sistema de preparo e da rotação de culturas na porosidade e densidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.25, n.2, p.395-401, 2001.

STOLF, R.; MURAKAMI, J. H.; BRUGNARO, C.; SILVA, L. G.; SILVA, L. C. F. D.; MARGARIDO, L. A. C. Penetrômetro de impacto stolf-programa computacional de dados em EXCEL-VBA. **Revista brasileira de ciência do Solo**, v. 38, p. 774-782, 2014.

SPOOR, G.; GODWIN, R. J. An experimental investigation in the dup haseming of by rigid times. *Journal of Agricultural Engineering Research*, v. 23, n.1, p. 243-58.1978. Spoor, G. Alleviation of soil compaction: requirements, equipment and techniques. *Soil Use and Management*, v. 22, n.2, p. 113–122, 2006.

STONE, L. F.; SILVEIRA, P. M. Efeitos do sistema de preparo e da rotação de culturas na porosidade e densidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, p. 395-401, 2001

TOIGO, S. Remediação mecânica e biológica da compactação inicial de um nitossolo Vermelho cultivado com trigo. 2010. Dissertação de Mestrado. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

TORRES, J. L. R.; ASSIS, R. L.; LOSS, A. Evolução entre os sistemas de produção agropecuária no Cerrado: convencional, Barreirão, Santa Fé e Integração Lavoura-Pecuária. **Informe Agropecuário**, v. 39, n. 302, p. 7-17, 2018.

TRENTIN, R.G.; MODOLO, A. J.; VARGAS, T.D.O.; CAMPOS, J. R. DA R.; ADAMI, P. F.; BAESSO, M. M. Soybean productivity in Rhodic Hapludox compacted by the action of furrow openers. **Acta Scientiarum**, v. 40, n. esp, p. 1–9, 2018.

USDA - USDA - Departamento de Agricultura dos Estados Unidos - Safra Mundial de Milho 2022/2023 - 10º. Informativo. Disponível em: <<https://apps.fas.usda.gov/psdonline/app/index.html#/app/advQuery>> Acesso em: 04 de fev. de 2023.

VALE, W. G. D., GARCIA, R. F., THIEBAUT, J. T. L., AMIM, R. T., & TOURINO, M. C. C. Desempenho e dimensionamento amostral para avaliação de uma semeadora-adubadora em plantio direto e convencional. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 30, p. 441-448, 2008.