

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”  
FACULDADE DE ENGENHARIA  
CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA**

**FÁBIO HENRIQUE DE SOUZA**

**DESEMPENHO DAS CULTURAS DE SOJA E MILHO E ATRIBUTOS FÍSICOS DO  
SOLO EM DIFERENTES SISTEMAS DE PREPARO E RETOMADA DO SISTEMA  
DE PLANTIO DIRETO**

Ilha Solteira  
2017

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA:**  
**SISTEMAS DE PRODUÇÃO**

**FÁBIO HENRIQUE DE SOUZA**

**DESEMPENHO DAS CULTURAS DE SOJA E MILHO E ATRIBUTOS FÍSICOS DO  
SOLO EM DIFERENTES SISTEMAS DE PREPARO E RETOMADA DO SISTEMA  
DE PLANTIO DIRETO**

Tese apresentada à Faculdade de Engenharia de  
Ilha Solteira – UNESP como parte dos requisitos  
para obtenção do título de Doutor.  
Especialidade: Sistemas de produção

Prof. Dr. Luiz Malcolm Mano de Mello  
**Orientador**

Ilha Solteira  
2017

FICHA CATALOGRÁFICA

Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

S729d Souza, Fábio Henrique de .  
Desempenho das culturas de soja e milho e atributos físicos do solo em diferentes sistemas de preparo e retomada do sistema de plantio direto / Fábio Henrique de Souza. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2017  
67 f. : il.

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Área de conhecimento: Sistemas de Produção, 2017

Orientador: Luiz Malcolm Mano de Mello  
Inclui bibliografia

1. Escarificação. 2. Porosidade do solo. 3. Compactação do solo. 4. *Glycine max* L. 5. *Zea mays* L.

**CERTIFICADO DE APROVAÇÃO**

TÍTULO DA TESE: Desempenho das culturas de soja e milho e atributos físicos do solo em diferentes sistemas de preparo e retomada do sistema de plantio direto


**AUTOR: FÁBIO HENRIQUE DE SOUZA**

**ORIENTADOR: LUIZ MALCOLM MANO DE MELLO**


Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Doutor em AGRONOMIA, especialidade: SISTEMAS DE PRODUÇÃO pela Comissão Examinadora:

  
Prof. Dr. LUIZ MALCOLM MANO DE MELLO  
Depto de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira

  
Prof. Dr. ELCIO HIROYOSHI YANO  
Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira

  
Prof. Dr. RAFAEL MONTANARI  
Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos / Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho/Ilha Solteira/SP

  
Prof. Dr. RONALDO CINTRA LIMA  
Coordenação de Curso de Engenharia Agrônoma / Faculdade de Ciências Agrárias e Tecnológicas de Dracena

  
Profa. Dra. KAREM CRISTINE PIROLA NARIMATSU  
Departamento de Agronomia / Fundação Educacional de Andradina - FEA

Ilha Solteira, 18 de agosto de 2017

## DEDICO

Aos meus Pais Edson Wanderley de Souza e Vânia Aparecida Rodrigues Souza, e a minha irmã Francine Beatriz de Souza, que sempre me fizeram acreditar na realização dos meus sonhos e trabalharam muito para que eu pudesse realizá-los, pelo amor, apoio, confiança e motivação incondicional.

## AGRADECIMENTOS

A Deus por ter me oferecido condições para buscar mais uma conquista marcada por muito esforço, dedicação e humildade.

A meus pais Edson Wanderley de Souza e Vânia Aparecida Rodrigues de Souza por serem parte responsável da pessoa que sou hoje.

A minha irmã Francine Beatriz de Souza, pela paciência, convivência, ajuda e incentivo durante as atividades do curso de doutorado.

A minha avó Jacira Maestá Rodrigues por me ajudar sempre.

Ao meu orientador Prof. Dr. Luiz Malcolm Mano de Mello, por sua amizade, ensinamentos, dedicação e orientação.

Ao Prof. Dr. Élcio Hiroyoshi Yano, por sua amizade, ensinamentos e conselhos.

A todos os companheiros de trabalho e funcionários da Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão da Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira/UNESP FEPE que me ajudaram durante o curso e pela amizade firmada.

Aos professores que participaram da banca examinadora, pelas críticas e sugestões para melhoria do trabalho.

Aos professores que me ensinaram e me orientaram durante o curso de doutorado.

A Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira – FEIS/UNESP pela concessão da vaga e infra-estrutura oferecida.

Aos funcionários do Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos – DEFERS pela atenção e ajuda.

Aos colegas da turma de doutorado em especial ao Leandro Alves Freitas, pela ajuda, reflexões, críticas e sugestões.

Aos meus amigos que me ajudaram e me incentivaram durante o curso.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de doutorado.

A todos que contribuíram direta ou indiretamente em mais esta etapa da minha vida, meus sinceros agradecimentos.

“Que os vossos esforços desafiem as impossibilidades, lembrai-vos de que as grandes coisas do homem foram conquistadas do que parecia impossível.”  
Charles Chaplin

## RESUMO

O emprego de técnicas racionais de preparo do solo vem se tornando fundamentais para garantir a máxima exploração do potencial produtivo das culturas agrícolas e reduzir os problemas de degradação dos solos. Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar, para as culturas de soja e do milho, qual sistema de preparo do solo proporciona melhor condição para a descompactação do solo e retomada do plantio direto em área anteriormente conduzida sob este sistema. O experimento foi realizado nos anos de 2014, 2015 e 2016. O delineamento experimental foi em blocos ao acaso com quatro repetições e quatro tratamentos na safra 2014/2015 e passou a ter oito tratamentos a partir da safra outono/inverno de 2015 constituídos por: Plantio direto contínuo (PDC); Preparo convencional com arado de aiveca (AA); Preparo convencional com grade pesada implantado na safra verão 2014/2015 (GrP<sub>a</sub>); Preparo convencional com grade pesada implantado na safra outono/inverno de 2015 (GrP<sub>b</sub>); Cultivo mínimo com escarificação do solo (CM); Plantio direto sobre gradagem da safra verão 2014/15 (PD-GrP); Plantio direto sobre aração (PD-AA); Plantio direto sobre escarificação (PD-ESC). Os efeitos dos tratamentos foram avaliados a partir dos atributos: macroporosidade, microporosidade, porosidade total, densidade do solo, parâmetros de desenvolvimento e produtividade das culturas da soja e do milho. As condições físicas do solo encontradas no plantio direto contínuo (PDC) restringiram a produtividade da cultura do milho, indicando a necessidade de mobilização do solo para redução da compactação. O preparo do solo com uso do escarificador reduziu a compactação formada no sistema de plantio direto, proporcionando os maiores índices de produtividade da cultura do milho e da soja e melhorando a qualidade física do solo. Por fim, a utilização consecutiva de grade pesada deve ser evitada por apresentar degradação do solo.

**Palavras-chaves:** Escarificação. Porosidade do solo. Compactação do solo. *Glicine max* L. *Zea mays* L.



## ABSTRACT

The use of rational soil tillage techniques is becoming essential to ensure maximum exploitation of crop production potential and to reduce problems of soil degradation. Thus the objective of this work was to evaluate, for soybean and corn crop, which soil tillage system provides a better condition for soil decompression and reinstatement of the no-tillage system. The experiment was carried out in 2014, 2015 and 2016. The experimental design was a randomized complete block design with four replications and four treatments in the 2014/2015 harvest, and started having eight treatments from the autumn/winter harvest of 2015, consisting of: No-tillage continuous (PDC); Conventional preparation with plow (AA); Conventional preparation with heavy grid implanted in the summer harvest 2014/2015 (GrP<sub>a</sub>); Conventional preparation with heavy grid implanted in the fall/winter crop of 2015 (GrP<sub>b</sub>); Minimum cultivation with soil scarification (CM); No-tillage on harrowing of the summer harvest 2014/15 (PD-GrP); No-tillage on plowing (PD-AA); No-tillage on scarification (PD-ESC). The effects of the treatments were evaluated from the macroporosity, microporosity, total porosity, soil density, development parameters and yield of soybean and maize crops. The physical soil conditions found in no-tillage systems restricted maize crop productivity, indicating the need for soil mobilization to reduce compaction. Soil preparation using the scarifier reduced the compaction formed in the no-tillage system, providing the highest productivity indexes of maize and soybean crop and improving soil physical quality. Finally, the consecutive use of heavy grating should be avoided because of soil degradation.

**Keywords:** Scarification. Porosity of soil. Soil compaction. *Glicine max* L. *Zea mays* L.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Imagem da área experimental. ....	24
<b>Figura 2.</b> Valores mensais de precipitação pluvial, temperatura do ar média, máxima e mínima no ano de 2014.....	27
<b>Figura 3.</b> Valores mensais de precipitação pluvial, temperatura do ar média, máxima e mínima no ano de 2015.....	27
<b>Figura 4.</b> Valores mensais de precipitação pluvial, temperatura do ar média, máxima e mínima no ano de 2016.....	28
<b>Figura 5.</b> Croqui da área experimental na safra de soja verão 2014/2015. ....	33
<b>Figura 6 -</b> Croqui da área experimental na safra de soja verão 2015/2016 e safras de milho outono/inverno de 2015 e 2016.....	34
<b>Figura 7.</b> Semeadura do milho em sistema de plantio direto contínuo (SPD) na safra outono/inverno 2016.....	35
<b>Figura 8.</b> Preparo de solo convencional com arado de aiveca (AA), safra outono/inverno de 2016.....	36
<b>Figura 9.</b> Preparo convencional de solo com grade pesada (GrP), safra outono/inverno de 2016. ....	36
<b>Figura 10.</b> Preparo reduzido do solo com escarificador (ESC), safra outono/inverno de 2016. ....	37
<b>Figura 11.</b> Visão geral da área experimental no momento da semeadura safra outono/inverno de 2016. ....	37

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1.</b> Valores dos atributos químicos do solo nas camadas de 0,0-0,10, 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m de profundidade.....	28
<b>Tabela 2.</b> Número de safras agrícolas repetindo os manejos de solo na área experimental. ....	38
<b>Tabela 3.</b> Valores de macroporosidade do solo nas camadas de 0,00-0,10, 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m de profundidade para diferentes sistemas de preparos e época de amostragem do solo. ....	43
<b>Tabela 4.</b> Médias de macroporosidade do solo ( $\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$ ) na profundidade de 0,10-0,20 m para interação entre sistemas de preparos (P) e épocas de amostragens de solo (E).....	44
<b>Tabela 5.</b> Valores de microporosidade do solo nas camadas de 0,00-0,10, 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m de profundidade para diferentes sistemas de preparo e época de amostragem de solo. ....	45
<b>Tabela 6.</b> Valores de porosidade total do solo nas camadas de 0,00-0,10, 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m de profundidade para diferentes sistemas de preparo e época de amostragem de solo. ....	46
<b>Tabela 7.</b> Valores de densidade do solo nas camadas de 0,00-0,10, 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m de profundidade para diferentes sistemas de preparos e época de amostragem de solo. ....	47
<b>Tabela 8.</b> Médias de densidade do solo ( $\text{kg} \cdot \text{dm}^{-3}$ ) na profundidade de 0,20-0,30 m para interação entre sistemas de preparos (P) e épocas de amostragens de solo (E). ....	49
<b>Tabela 9.</b> Valores de população inicial, final e sobrevivência da cultura da soja safra verão 2014/2015 em diferentes sistemas de preparo de solo.....	51
<b>Tabela 10.</b> Valores de altura de plantas, altura de inserção da primeira vagem e matéria seca da palha da cultura da soja safra verão 2014/2015 em diferentes sistemas de preparo de solo. ....	51
<b>Tabela 11.</b> Valores de número de vagens por planta, massa de mil grãos e produtividade de grãos da cultura da soja safra verão 2014/2015 em diferentes sistemas de preparo de solo.....	52
<b>Tabela 12.</b> Valores de população inicial, final e sobrevivência da cultura da soja safra verão 2015/2016 em diferentes sistemas de preparo de solo.....	53
<b>Tabela 13.</b> Valores de altura de plantas, altura de inserção da primeira vagem e matéria seca da palha da cultura da soja safra verão 2015/2016 em diferentes sistemas de preparo de solo. ....	54
<b>Tabela 14.</b> Valores de número de vagens por planta, massa de mil grãos e produtividade de grãos da cultura da soja safra verão 2015/2016 em diferentes sistemas de preparo de solo.....	55
<b>Tabela 15.</b> Valores médios obtidos para população inicial, final e sobrevivência da cultura do milho na safra Outono/Inverno de 2015 em diferentes sistemas de preparo de solo.....	56

<b>Tabela 16.</b> Valores médios obtidos para altura de plantas, altura de inserção da primeira espiga e matéria seca da palha da cultura do milho na safra Outono/Inverno de 2015 em diferentes sistemas de preparo de solo.....	57
<b>Tabela 17.</b> Valores médios obtidos para número de fileiras por espiga, número de grãos por fileira, massa de mil grãos e produtividade da cultura do milho na safra Outono/Inverno de 2015 em diferentes sistemas de preparo de solo. ....	58
<b>Tabela 18.</b> Valores obtidos para população inicial, final e sobrevivência da cultura do milho na safra outono/inverno de 2016 em diferentes sistemas de preparo de solo.....	59
<b>Tabela 19.</b> Valores obtidos para altura de plantas, altura de inserção da primeira espiga e matéria seca da palha da cultura do milho na safra Outono/Inverno de 2016 em diferentes sistemas de preparo de solo.....	60
<b>Tabela 20.</b> Valores obtidos para número de fileiras por espiga, número de grãos por fileira, massa de mil grãos e produtividade da cultura do milho na safra Outono/Inverno de 2016 em diferentes sistemas de preparo de solo. ....	61

## LISTA DE QUADROS

<b>Quadro 1.</b> Cronograma das atividades realizadas durante a condução do experimento. ("Continua") .....	25
<b>Quadro 1.</b> Cronograma das atividades realizadas durante a condução do experimento. ("Conclusão") .....	26
<b>Quadro 2.</b> Insumos agrícolas utilizados nas safras de soja 2014/2015 e 2015/2016. ....	29
<b>Quadro 3.</b> Insumos agrícolas utilizados nas safras de milho outono/inverno de 2015 e 2016. ....	30
<b>Quadro 4.</b> Máquinas e equipamentos utilizados na condução do experimento. ("Continua") .....	31
<b>Quadro 4.</b> Máquinas e equipamentos utilizados na condução do experimento. ("Conclusão") .....	32
<b>Quadro 5.</b> Análise de variância do delineamento experimental dos atributos físicos do solo.....	38
<b>Quadro 6.</b> Análise de variância para o delineamento em blocos casualizados, para safra verão 2014/2015. ....	38
<b>Quadro 7.</b> Análise de variância para o delineamento em blocos casualizados, para safra verão 2015/2016 e safra outono/inverno 2015 e 2016.....	39

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	15
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	17
<b>2.1 Preparo de solo</b> .....	17
<b>2.2 Preparo convencional do solo</b> .....	18
<b>2.3 Cultivo mínimo</b> .....	19
<b>2.4 Plantio direto</b> .....	20
<b>2.5 Compactação do solo</b> .....	22
<b>3 MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	24
<b>3.1 MATERIAL</b> .....	24
<b>3.1.1 Localização da área experimental</b> .....	24
<b>3.1.2 Descrição do clima e dados de precipitação</b> .....	26
<b>3.1.3 Solo e histórico da área</b> .....	28
<b>3.1.4 Insumos básicos</b> .....	29
<b>3.1.5 Máquinas e equipamentos</b> .....	31
<b>3.2 MÉTODOS</b> .....	32
<b>3.2.1 Delineamento experimental</b> .....	32
<b>3.2.1.1 Soja safra verão 2014/2015</b> .....	32
<b>3.2.1.2 Soja safra verão 2015/16 e milho safra outono/inverno 2015 e 2016</b> .....	34
<b>3.2.2 Análise Estatística</b> .....	38
<b>3.2.3 Determinação dos atributos físicos do solo</b> .....	39
<b>3.2.4 Avaliações fitotécnicas e componentes de produção nas culturas de soja e milho</b> ..	39
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	42
<b>4.1 Atributos físicos do solo</b> .....	42
<b>4.2 Parâmetros fenológicos e de produtividade da cultura da soja</b> .....	50
<b>4.2.1 Soja safra verão 2014/2015</b> .....	50
<b>4.2.2 Soja safra verão 2015/2016</b> .....	52
<b>4.3 Parâmetros fenológicos e de produtividade da cultura do milho</b> .....	56
<b>4.3.1 Milho safra outono/inverno de 2015</b> .....	56
<b>4.3.2 Milho safra outono/inverno de 2016</b> .....	59
<b>5 CONCLUSÕES</b> .....	62
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	63

## 1 INTRODUÇÃO

Atualmente no cenário nacional, a intenção de plantio de soja, no exercício 2016/2017, deverá se situar no intervalo de 33.360,1 a 33.995,3 mil hectares e para cultura do milho 15.967,5 a 16.265,5 mil hectares, sendo que 10.534,8 mil hectares serão de milho segunda safra (outono/inverno) (CONAB, 2016).

O sistema de exploração agrícola tem proporcionado ao solo um acelerado processo de degradação, principalmente pela utilização de culturas anuais cultivadas sucessivamente na mesma área. O emprego de técnicas racionais de manejo do solo vem se tornando fundamentais para garantir a máxima exploração do potencial produtivo das culturas e reduzir os problemas de degradação dos solos.

O preparo do solo consiste em um conjunto de operações realizadas com o objetivo de propiciar condições favoráveis à sementeira, ao desenvolvimento e à produção das plantas cultivadas. Para que isto seja possível, é imprescindível a adoção de práticas conservacionistas. O sistema plantio direto – SPD é reconhecido como o sistema de manejo do solo mais importante para a sustentabilidade agrícola. Isso devido ao desenvolvimento continuado de tecnologias para superar os problemas relacionados ao manejo desse sistema, bem como para aperfeiçoá-lo e adaptá-lo às diferentes regiões.

Na região Noroeste do estado de São Paulo e regiões mais baixas do cerrado brasileiro as condições climáticas favorece a alta taxa de decomposição da cobertura vegetal, este fator associado com o intenso tráfego de máquinas agrícolas empregados nos sistema de sucessão de culturas soja/milho favorece o surgimento de camadas de solo compactado reduzindo assim a longevidade do SPD. Para tentar resolver esse problema agricultores e pesquisadores tem buscado sistemas de preparo do solo baseadas na mobilização parcial ou total do solo, para tentar reverter os efeitos adversos da compactação do solo no desenvolvimento e produção das culturas agrícolas. Porém, o efeito residual das intervenções com aração ou escarificação sobre os atributos físicos do solo desapareceram em poucos ciclos de cultivo.

A carência de resultados a respeito de qual tipo e residual do preparo de solo deve ser utilizado nessas regiões, para reverter os problemas de compactação do solo decorrentes do SPD e melhorar a qualidade dos atributos do solo e a produtividade agrícola, tem feitos muitos agricultores a utilizarem de forma demasiada operações como subsolagem, escarificação, aração ou gradagem pesada. Nesse contexto, torna-se necessária a obtenção de mais resultados experimentais que contribuam para esclarecer a necessidade e o efeito residual das operações de preparo de solo. Essa questão é importante quando se considera o

custo operacional e a agressividade dessas intervenções mecânicas a estrutura do solo e ao meio ambiente.

Nesse contexto, torna-se necessária a obtenção de mais resultados experimentais que contribuam para esclarecer a necessidade e o efeito residual das operações de preparo para qualidade física do solo em áreas irrigadas. Sendo assim o objetivo deste trabalho foi verificar, para as culturas de soja e milho, qual sistema de preparo do solo proporciona melhor condição para a descompactação do solo e retomada do plantio direto em área anteriormente conduzida sob este sistema.



## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Preparo de solo

O preparo do solo consiste em um conjunto de operações realizadas com o objetivo de propiciar condições favoráveis à sementeira, ao desenvolvimento e à produção das plantas cultivadas. Para que isto seja possível, é imprescindível a adoção de diversas práticas, dando-se prioridade aos sistemas conservacionistas.

Estudos realizados por Deperon Junior et al. (2016) mostram que o uso de equipamentos para preparo do solo, de maneira geral influenciam nos valores de densidade do solo e a porosidade total principalmente na camada de 0,00-0,10 m.

Segundo a EMBRAPA (2001) no preparo do solo, os objetivos devem ser atingidos com o menor número de operações, reduzindo o tempo e o consumo de energia necessária para a implantação da cultura. Desta forma, diferentes equipamentos agrícolas podem ser utilizados para alcançar tais objetivos, entretanto deve ser ressaltado que cada um possui uma ação específica, em função das características próprias de seus órgãos ativos, sobre o solo.

O preparo periódico do solo vem passando por considerável evolução (COAN, 1995). No momento, a atenção está voltada para sistemas cujas operações resultem em menor consumo de energia, que visem à conservação do solo e da água e não causem prejuízos no desenvolvimento e produtividade das plantas.

Carvalho Filho (2004) destaca em seu trabalho que o preparo periódico do solo pode se dividir em:

- Preparo primário; são operações mais profundas e grosseiras que tem como objetivo o revolvimento do solo, promovendo a descompactação do solo e a incorporação da vegetação instalada e dos restos de cultura, geralmente deixam a superfície do terreno irregular, com torrões e desnivelada. Recomenda-se que neste preparo não ocorra excessiva quebra dos torrões, deixando o máximo possível de resíduos vegetais na superfície, atingindo profundidade suficiente para permitir uma boa infiltração de água no solo e menor risco de erosão.
- Preparo secundário do solo: Definido como operações superficiais feitas após o preparo primário. Visando o nivelamento, Destorroamento do solo, eliminação de plantas invasoras, ou permitir a fácil colocação e cobertura da semente no solo, permitindo assim um ambiente favorável ao desenvolvimento inicial da cultura implantada com reflexos diretos na produção. Sordi (2000) deixa evidente em seu trabalho que a maior compactação do solo sobre a

semente, ou seja, um melhor fechamento de sulco de semeadura resulta em maior índice de sobrevivência de plantas.

A melhoria da qualidade do solo cultivável, por meio da utilização de sistemas conservacionistas, como o plantio direto e o cultivo mínimo, permitiu a expansão da agricultura para novas áreas produtoras. Porém para Silva, Imhoff e Kay (2004), um dos fatores limitantes para as plantas cultivadas atingirem seu máximo potencial produtivo nestas áreas têm sido as alterações nos atributos físicos do solo, principalmente a compactação, prejudicando a sustentabilidade do sistema agrícola. A compactação do solo principalmente em sistemas de plantio direto ocorre, principalmente pelo tráfego de máquinas e implementos em condições de alto teor de água no solo ou por mobilizá-lo somente na linha de semeadura (ARAÚJO; TORMENA; SILVA, 2004).

Mello (1988) estudando os efeitos de diferentes sistemas de preparo do solo na cultura da soja em Latossolo Vermelho da região do cerrado, e verificou menores produtividades em área com semeadura direta.

## **2.2 Preparo convencional do solo**

O sistema convencional de preparo do solo consiste na realização do preparo primário com arados de disco, arados de aivecas ou grades pesadas, seguido de operações com grades média e/ou leves para destorroamento e nivelamento (preparo secundário do solo). Esta sequência de operações de preparo aliada ao princípio de funcionamento desses equipamentos proporciona a pulverização da superfície do solo, deixando-os susceptíveis ao processo de erosão e formação de impedimentos mecânicos logo abaixo das camadas de solo mobilizado (“pé de grade” ou “pé de arado” dependendo do equipamento utilizado) (SILVA, 1992).

Carvalho Filho (2004) relata que a grade é preferida pelos agricultores, quando comparada aos arados, devido à maior largura útil de ação e maior velocidade de deslocamento, o que aumenta sua capacidade efetiva de trabalho. No entanto, o que se ganha em largura perde-se em profundidade, gerando uma camada compactada, quando empregada de forma intensiva ao longo dos anos, impedindo o desenvolvimento das raízes, e a altura das plantas, proporcionando queda na produtividade.

A grade pesada movimenta o solo duas vezes em sentidos opostos, em uma única passada. O conjunto das secções dianteiras, em face do ângulo que fazem entre si e dos discos recortados destorroa jogando a terra para um lado enquanto o conjunto traseiro joga a terra removida para o outro, completando o trabalho do primeiro. Segundo Gadanha Júnior et al.

(1991) e Silveira (1989) a grade pesada causa espelhamento no fundo do sulco, o que aumenta a densidade e reduz a infiltração de água no solo. Além disto, a grade proporciona maior desagregação e redução do espaço poroso do solo, e somente consegue romper camadas compactadas localizadas mais próximas à superfície do solo.

Os arados de aivecas realizam o corte, elevação e inversão da leiva de uma forma mais perfeita e em profundidades maiores que aquelas alcançadas pelo arado de discos, entretanto, deixa a superfície do solo mais descoberta, o que aumenta o risco de erosão.

Kluthcouski (1998) mostra em seu trabalho que em situações onde foi usado o arado de aiveca, ocorreu maior produtividade de milho quando comparado ao plantio direto ou ao preparo com grade pesada. Isto ocorreu devido ao menor desenvolvimento do sistema radicular nesses sistemas de preparo, por causa da compactação do solo na camada superficial ou subsuperficial, respectivamente.

### **2.3 Cultivo mínimo**

De acordo com ASAE (1982) e Dallmeyer (1994), o cultivo mínimo ou preparo reduzido do solo pode ser definido como aquele que proporciona menor número de operações que o preparo convencional, resultando em menor incorporação de resíduos vegetais, menor inversão do solo e redução das perdas de solo e água. Buhler (1995) considera o cultivo mínimo um preparo conservacionista, pois proporciona boa preservação da estruturação do solo, mantém no mínimo 30% da superfície do solo coberta com palha, entre o período compreendido da colheita da cultura anterior e a implantação da próxima cultura.

O subsolador/escarificador e o principal equipamento de preparo de solo utilizado no sistema. Segundo Lanças (2002) na subsolagem ou escarificação o rompimento do solo ocorre através da propagação das trincas, ou seja, o solo não é cortado como na aração ou gradagem e sim rompido nas suas linhas de fraturas naturais ou através das interfaces dos seus agregados. O mesmo autor explica que os equipamentos que utilizam hastes provocam um rompimento tridimensional do solo em blocos, ou seja, este se rompe para frente, para cima e para os lados. Isto permite dizer que este tipo de mobilização é menos agressiva do que aquelas nos quais as lâminas cortam o solo de forma contínua, destruindo sua estrutura original.

Reichert et al. (2009) evidenciam que a escarificação do solo promove a redução da densidade e da resistência do solo à penetração, com o mínimo possível de mobilização do

solo. Porém a longevidade dos efeitos da escarificação é muito variável, desde poucos meses até alguns anos (ROSA et al., 2008).

Camara e Klein (2005) e Nicoloso et al. (2008) observaram redução da densidade do solo, em preparo de solo com o uso do escarificador comparado ao sistema de plantio direto.

Martinez et al. (2011), observaram que a escarificação no plantio direto reduziu a compactação e proporcionou aumento significativo na produtividade de grãos quando comparada com o plantio direto até dois anos após a operação de preparo.

Para Ralisch et al. (2001) a escarificação tem efeito de redução da densidade do solo somente para uma safra, não tendo efeito residual para safras subsequentes. Seki et al. (2015) não encontraram diferenças entre os valores de densidade obtidos antes da implantação do experimento e após a colheita do milho (11 meses após o preparo do solo).

Seki et al. (2015), Mahl et al. (2008) e Bertolini et al. (2008) não obtiveram diferenças significativas nos valores de produtividade do milho em solo escarificado quando comparado aos outros tipos de preparo de solo. No entanto Secco et al. (2009) conseguiu em seu trabalho um aumento de 17% na produtividade de grão de milho, em solo escarificado.

## **2.4 Plantio direto**

A adoção do plantio direto contribui para a sustentabilidade de sistemas agrícolas intensivos, por manter o solo coberto por restos culturais, minimizando os efeitos da erosão, e por manter o teor de matéria orgânica (ALBUQUERQUE et al., 1995). Entretanto, no plantio direto, os solos apresentam, em geral, na camada superficial, após três a quatro anos, maiores valores de densidade e microporosidade e menores valores de macroporosidade e porosidade total, quando comparados com os do preparo convencional. Isto decorre, principalmente, do arranjo natural do solo, quando não é mobilizado, e da pressão provocada pelo trânsito de máquinas e implementos agrícolas, sobretudo quando realizado em solos argilosos e com teores elevados de umidade.

Segundo Yano (2005) o uso do sistema plantio direto na semeadura das principais culturas em sucessão possibilitou receita extra ao agricultor, uma vez que há um ganho de tempo no momento da semeadura, na manutenção dos teores de água, na possibilidade de fornecer cobertura no período de entressafra e na economia de combustível no momento do plantio. O sucesso desse sistema no Cerrado deve-se ao fato de que a palhada, acumulada pelas plantas de cobertura ou das pastagens e restos culturais de lavouras comerciais, proporciona ambiente favorável à manutenção das propriedades do solo (SANTOS et al.,

2008). A formação de palha é fundamental para a proteção, estruturação e redução da erosão, por meio de sistemas radiculares capazes de permitir a manutenção do solo.

Nas regiões mais baixas do cerrado brasileiro as condições climáticas favorecem a alta taxa de decomposição da cobertura vegetal do sistema de plantio direto (MELLO et al., 2013). Este fator associado com o intenso tráfego de máquinas agrícolas empregados no sistema de sucessão de culturas soja/milho favorece o surgimento de camadas de solo compactado reduzindo assim a longevidade do sistema de plantio direto (COLLARES et al., 2008). Mello (2001) e Yano (2002) evidenciam em seus trabalhos realizados na região de Selviria- MS que a produção de  $10 \text{ t.ha}^{-1}$  de matéria seca de resíduos adicionados anualmente sobre a superfície é suficiente para suprir a implantação do sistema plantio direto, com plena condição de manifestar seu potencial como sistema sustentável em regiões de temperatura média anual alta com precipitações pluviométricas concentradas no verão.

Em trabalho realizado por Yano (2005) os resultados mostram que a porcentagem de cobertura no sistema de plantio direto foi estatisticamente superior aos demais manejos, devido ao acúmulo e não mobilização do solo. A porcentagem de cobertura após o manejo do solo reduziu a quantidade de material exposto na superfície, principalmente após a aração seguida de duas gradagens (sistema convencional).

O cultivo de milho e soja em sistema plantio direto com irrigação complementar vem crescendo amplamente nas regiões do cerrado brasileiro (EMBRAPA, 2007). No entanto um dos fatores limitantes para a obtenção do máximo potencial produtivo da cultura sob este sistema têm sido as alterações nos atributos físicos do solo como densidade do solo, tamanho e volume de poros (SEKI et al., 2015). Causadas principalmente pelo tráfego de máquinas combinado ao elevado teor de água do solo prejudicando a sustentabilidade do sistema (COLLARES et al., 2008).

Stone e Silveira (2001) também afirmaram que o sistema plantio direto proporcionava maiores valores de densidade e microporosidade, e, em consequência, menor macroporosidade e porosidade total, sendo que a densidade do solo influenciou em diversos atributos dele como a condutividade de água e o calor.

A compactação do solo neste sistema ocorre principalmente nas camadas superficiais, devido, principalmente, ao tráfego de máquinas, e implementos em condições de alto teor de água no solo ou por mobilizá-lo somente na linha de semeadura. Mello, Takahashi e Yano (2002) mostram em seu trabalho sobre mecanismos sulcadores das semeadoras que a utilização de haste gera maior capacidade de romper o solo na linha da semeadura

proporcionando menor densidade do solo e aumento na macroporosidade do solo em relação ao mecanismo sulcador tipo disco duplo.

Silveira et al (2008) cita em seu trabalho que existe alteração da estrutura do solo causada pelo uso contínuo do sistema de plantio direto, com aumento na densidade do solo e diminuição na macroporosidade, podendo provocar modificações no fluxo de água e nutriente do solo e atuar conseqüentemente na redução do desenvolvimento e produtividade das culturas.

Oliveira et al. (2003) relatam que a densidade do solo em sistemas contínuo de plantio direto pode ser menor que a densidade encontrada nos primeiros anos após do sistema, devido ao aumento da matéria orgânica na camada superficial, podendo melhorar inclusive a estrutura do solo.

## **2.5 Compactação do solo**

A compactação do solo é resultado do processo físico exercido pela ação das forças mecânicas causadas pelo tráfego de máquinas por ocasião da semeadura, tratos culturais, colheita e transporte, do pisoteio animal em áreas de pastejo e da ação da percolação de água no perfil do solo. O uso intensivo de áreas para a produção agrícola, aliado a técnicas impróprias de manejo do solo, tem causado degradação da estrutura do solo, influenciando negativamente o desenvolvimento vegetal e predispondo o solo à degradação.

O grau de compactação pode ser avaliado através de atributos físicos como densidade do solo e a macroporosidade. Sendo que, com o aumento da densidade, conseqüentemente, ocorre nova disposição das partículas e redução da porosidade (DIAS JÚNIOR; PIERCE, 1996). Como consequência, o desenvolvimento das plantas pode ser prejudicado pela alteração no movimento da água e dos nutrientes, aumento da resistência do solo à penetração de raízes devido a alta densidade do solo (OLIVEIRA, 2014).

Montanari (2011) explica em seu trabalho que a importância do estudo da densidade para se avaliar o nível de compactação do solo é fundamental para o bom desenvolvimento das plantas, pois elas desenvolvem-se melhor em solos que não apresentam limitação ao crescimento radicular, ou seja, solos com densidade suficiente para oferecer bom contato entre as raízes e as partículas de solo.

Conforme Carneiro et al. (2009), em solos argilosos, valores de densidade do solo em torno de  $1,27 \text{ kg dm}^{-3}$  tornam-se impeditivos ao crescimento radicular, porém a densidade do

solo possui estreita relação entre as suas frações texturais e valores críticos para os atributos físicos do solo.

Chioderoli et al. (2012) em trabalho realizado em Latossolo Vermelho distroférico, textura argilosa da região de Selvíria, MS, obtiveram valores de produtividade de soja acima da média regional, com valores de densidade do solo acima de  $1,50 \text{ kg dm}^{-3}$ . Resultados semelhantes foram encontrado por Mendonça et al., 2013 em trabalho realizado no mesmo local e tipo de solo.

Bertol et al. (2004) constataram que, em plantio direto, a densidade de solo é maior na camada superficial e decresce nas maiores profundidades e que a porosidade total se comporta de modo inverso, visto que são atributos dependentes entre si. O mesmo foi observado por Sarmiento et al. (2008), ao verificarem maior densidade do solo na camada superficial.

Lanzanova et al. (2007) e Reichert et al. (2009) reportaram que a porosidade controla várias propriedades físicas do solo, sendo que a macroporosidade é um indicador importante para avaliar a estrutura do solo, visto que a redução do volume de macroporos para valores abaixo de  $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$  pode restringir a produtividade das culturas. Mendonça et al. (2013) mesmo obtendo valores de macroporosidade abaixo de  $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$  em um Latossolo Vermelho distroférico, textura argilosa obtiveram altas médias de produtividade da cultura do milho.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 MATERIAL

##### 3.1.1 Localização da área experimental

O experimento foi realizado durante os anos de 2014, 2015 e 2016, sendo, duas safras verão (2014/2015 e 2015/2016) com a cultura da soja, e duas safras outono/inverno (2015 e 2016) com a cultura do milho, sob mesmas condições de cultivo e tratos culturais, com irrigação por pivô central, na Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão (FEPE) da Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, no município de Selvíria - MS, localizada nas coordenadas geodésicas: 20°20'49" S latitude e 51°24'29" W longitude, altitude média de 335 m e declive homogêneo de 0,025 m m<sup>-1</sup>. A vegetação natural é do tipo Cerrado.

Figura 1. Imagem da área experimental.



Fonte: Google Earth.

A sequência de atividades realizadas nos dois anos agrícolas referente ao processo de instalação do experimento, condução e avaliação dos resultados, encontra-se no Quadro 1.



Quadro 1. Cronograma das atividades realizadas durante a condução do experimento.  
 (“Continua”)

<b>Data Mês/Ano</b>	<b>Atividades</b>
<b>Setembro/2014</b>	Delimitação das parcelas.
<b>Outubro/2014</b>	Dessecação da área experimental. Manejo mecânico da cobertura vegetal. Coleta das amostras de solo para análise física e química. Determinações laboratoriais. Aplicação de calcário e gesso agrícola.
<b>Novembro/2014</b>	Preparo do solo arado de aiveca, grade pesada e subsolador.
<b>Dezembro/2014</b>	Destorroamento do solo com grade leve. Dessecação pré-semeadura. Semeadura da soja. Avaliação da população inicial. Determinações laboratoriais.
<b>Janeiro/2015</b>	Aplicação de Inseticidas, herbicidas e fungicidas.
<b>Fevereiro/2015</b>	Aplicação de Inseticidas e Fungicidas.
<b>Março/2015</b>	Aplicação de Inseticidas e Fungicidas.
<b>Abril/2015</b>	Avaliações das características agronômicas da soja. Colheita da soja. Determinações laboratoriais.
<b>Mai/2015</b>	Coleta das amostras de solo para análise física e química. Determinações laboratoriais.
<b>Junho/2015</b>	Preparo do solo arado de aiveca, grade pesada e subsolador. Dessecação pré-semeadura. Destorroamento do solo com grade leve. Semeadura do milho.
<b>Julho/2015</b>	Aplicação de herbicidas. Adubação de cobertura.
<b>Agosto/2015</b>	Determinações laboratoriais.
<b>Setembro/2015</b>	Determinações laboratoriais.
<b>Outubro/2015</b>	Determinações laboratoriais.
<b>Novembro/2015</b>	Avaliações das características agronômicas do milho. Colheita do milho. Coleta das amostras de solo para análise física e química. Determinações laboratoriais.
<b>Dezembro/2015</b>	Preparo do solo arado de aiveca, grade pesada e subsolador. Destorroamento do solo com grade leve. Dessecação pré-semeadura. Semeadura da soja. Avaliação da população inicial. Aplicação de Inseticidas e herbicidas. Determinações laboratoriais.

Quadro 1. Cronograma das atividades realizadas durante a condução do experimento. (“Conclusão”)

<b>Janeiro/2016</b>	Aplicação de inseticidas, herbicidas e fungicidas.
<b>Fevereiro/2016</b>	Aplicação de inseticidas e fungicidas.
<b>Março/2016</b>	Aplicação de inseticidas e fungicidas.
<b>Abril/2016</b>	Avaliações das características agronômicas da soja. Colheita da soja. Determinações laboratoriais. Coleta das amostras de solo para análise física e química. Determinações laboratoriais.
<b>Maiio/2016</b>	Preparo do solo arado de aiveca, grade pesada e subsolador. Dessecação pré-semeadura. Destorroamento do solo com grade leve. Semeadura do milho.
<b>Junho/2016</b>	Aplicação de herbicidas. Adubação de cobertura.
<b>Julho/2016</b>	Determinações laboratoriais.
<b>Agosto/2016</b>	Determinações laboratoriais.
<b>Setembro/2016</b>	Determinações laboratoriais.
<b>Outubro/2016</b>	Avaliações das características agronômicas do milho. Colheita do Milho.
<b>Novembro/2016</b>	Coleta das amostras de solo para análise física e química. Determinações laboratoriais.
<b>Dezembro/2016</b>	Determinações laboratoriais. Análise estatística dos dados, formulação dos resultados e discussão.

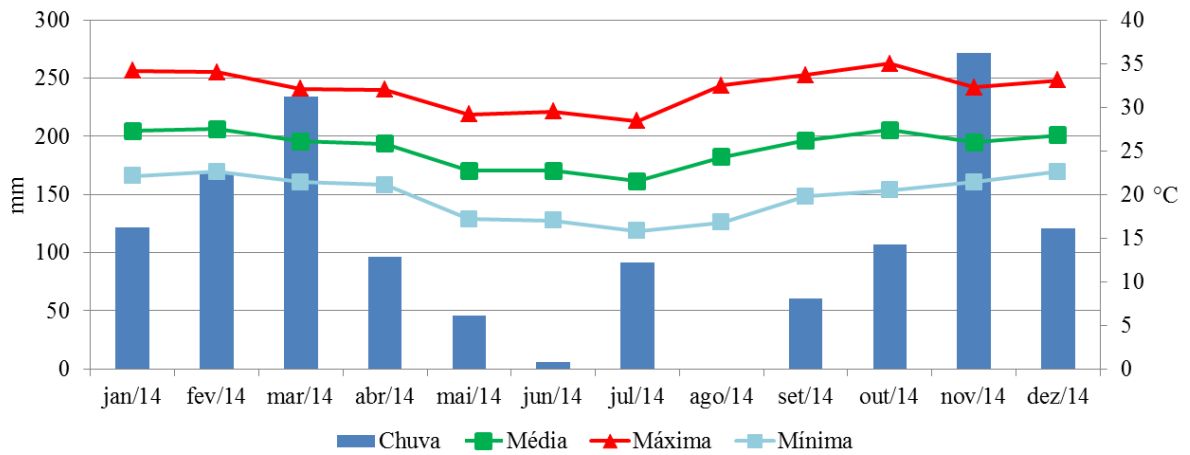
Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

### 3.1.2 Descrição do clima e dados de precipitação

O tipo climático é Aw, segundo Koeppen, caracterizado como tropical úmido com estação chuvosa no verão e seca no inverno.

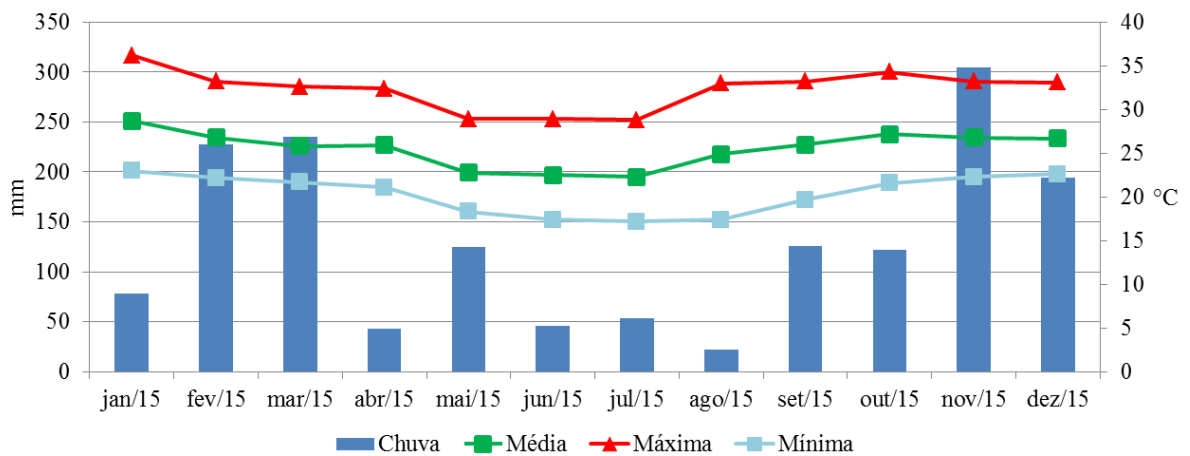
Os dados de precipitação pluvial e temperatura do ar foram coletados na Estação Agrometeorológica da Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, localizada nas coordenadas geodésicas 20°25'24" S latitude e 51°21'13" W longitude, município de Ilha Solteira - SP. Estação Agrometeorológica próxima ao local que foi realizado o experimento.

Figura 2. Valores mensais de precipitação pluvial, temperatura do ar média, máxima e mínima no ano de 2014.



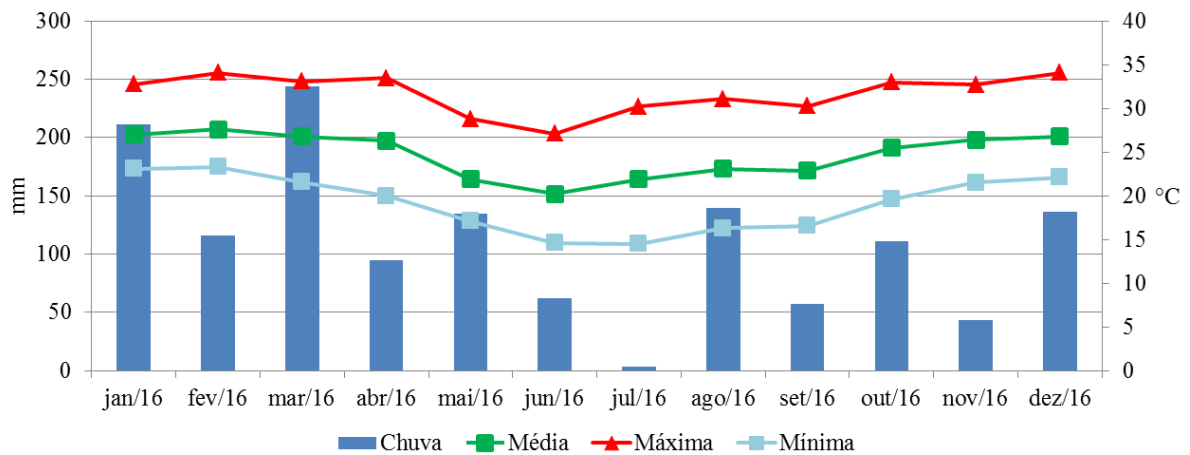
Fonte: Elaborado pelo autor. Dados fornecidos pela Estação Agrometeorológica da Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira.

Figura 3. Valores mensais de precipitação pluvial, temperatura do ar média, máxima e mínima no ano de 2015.



Fonte: Elaborado pelo autor. Dados fornecidos pela Estação Agrometeorológica da Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira.

Figura 4. Valores mensais de precipitação pluvial, temperatura do ar média, máxima e mínima no ano de 2016.



Fonte: Elaborado pelo autor. Dados fornecidos pela Estação Agrometeorológica da Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira.

### 3.1.3 Solo e histórico da área

O solo da área experimental é um Latossolo Vermelho distroférico típico (LVd), textura argilosa, A moderado, hipodistrófico, álico, caulínítico, férrico, muito profundo, moderadamente ácido (MONTANARI, 2011), classificado segundo as normas da EMBRAPA (2006).

A área experimental estava sendo utilizada há 15 anos (duas safras por ano) com sistema de plantio direto em sucessão de culturas soja (verão) e milho e/ou feijão (inverno). Antes da instalação do experimento, em 2014, foi feita uma caracterização química do solo nas camadas de 0,0-0,10; 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m de profundidade (Tabela 1). Ainda em 2014 foram realizados os preparos de solo com arado de aiveca, grade pesada e escarificador. Também foi aplicado 3,6 t ha<sup>-1</sup> de calcário, sendo 1,8 t ha<sup>-1</sup> antes do preparo e 1,8 t ha<sup>-1</sup> após os preparos de solo, visando atingir saturação por bases de 70 %.

Tabela 1. Valores dos atributos químicos do solo nas camadas de 0,0-0,10, 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m de profundidade.

Profundidade (m)	P (mg dm <sup>-3</sup> )	MO (g dm <sup>-3</sup> )	pH (CaCl <sub>2</sub> )						CTC (%)	V (%)
				K	Ca	Mg	H+Al	SB		
0,00-0,10	34,8	22,6	4,8	3,5	15,7	11,5	38,4	30,6	69,1	43,8
0,10-0,20	22,5	16,4	4,5	2,0	8,2	6,2	38,5	16,5	54,9	29,6
0,20-0,30	9,2	14,8	4,6	1,8	8,0	5,6	31,8	15,4	47,2	32,7

Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

### 3.1.4 Insumos básicos

Quadro 2. Insumos agrícolas utilizados nas safras de soja 2014/2015 e 2015/2016.

<b>Cultura</b>	<b>Insumos Princípio ativo (Produto comercial)</b>	<b>Tipo</b>	<b>Doses: Produto comercial</b>	<b>Tipo de aplicação</b>
<b>Soja</b>	BMX Potência	Semente	400 mil sementes.ha <sup>-1</sup>	Precisão em linha
	N-P-K 8-28-16	Adubo formulado	300 kg ha <sup>-1</sup>	Em linha
	Carboxin+Thiram (Vitavax-Thiram <sup>®</sup> )	Fungicida e inseticida	250 ml.100 kg de sementes <sup>-1</sup>	Tratamento de semente
	SEMIA5019 + SEMIA 5079 (Masterfix L <sup>®</sup> )	Inoculante líquido	200 ml.100 kg semente <sup>-1</sup>	Tratamento de semente
	Sal de amônio Glyphosate (Roundup <sup>®</sup> WG)	Herbicida não seletivo	Dessecação: 3 kg ha <sup>-1</sup> Pós emergente 1,5 kg ha <sup>-1</sup>	Pulverização pós- emergente e dessecação
	Carfentrazona etílica (Aurora <sup>®</sup> )	Herbicida seletivo	600 ml.ha <sup>-1</sup>	Dessecação
	Clorimuron etílico (Classic <sup>®</sup> )	Herbicida seletivo	25 g ha <sup>-1</sup>	Pulverização pós- emergente
	Haloxipe-P Metílico (Verdict <sup>®</sup> R)	Herbicida seletivo	600 ml ha <sup>-1</sup>	Pulverização pós- emergente e dessecação
	Clorantraniliprole (Premio <sup>®</sup> )	Inseticida sistêmico	60 ml ha <sup>-1</sup>	Pulverização para controle de lagartas
	Tiametoxam + Lambda-Cialotrina (Engeo Pleno <sup>®</sup> )	Inseticida sistêmico de contato e ingestão	250 ml ha <sup>-1</sup>	Pulverização para controle de mosca branca e perceijos
	Imidacloprido + Beta-ciflutrina (Connect <sup>®</sup> )	Inseticida sistêmico	1 L ha <sup>-1</sup>	Pulverização para controle de perceijos
	Clorpirifós (Lorsban <sup>®</sup> )	Inseticida de contato e ingestão	1 L ha <sup>-1</sup>	Pulverização para controle de lagartas
	Epoconazol + Piraclostrobina (Opera <sup>®</sup> )	Fungicida sistêmico	600 ml ha <sup>-1</sup>	Pulverização para controle de ferrugem asiática da soja e doenças de final de ciclo.
	Azoxistrobina + Ciproconazol (Priori Xtra <sup>®</sup> )	Fungicida sistêmico	300 ml ha <sup>-1</sup>	Pulverização para controle de ferrugem asiática da soja e doenças de final de ciclo

Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Quadro 3. Insumos agrícolas utilizados nas safras de milho outono/inverno de 2015 e 2016.

<b>Cultura</b>	<b>Insumos Princípio ativo (Produto comercial)</b>	<b>Tipo</b>	<b>Doses: Produto comercial</b>	<b>Tipo de aplicação</b>
<b>Milho</b>	DKB 390 VTPRO 2 (Safrá 2015)	Sementes	64.000 sementes ha <sup>-1</sup>	Precisão em linha
	AG 8088 VTPRO 2 (Safrá 2016)	Sementes	67.000 sementes ha <sup>-1</sup>	Precisão em linha
	NPK (4-30-10) (Safrá 2015)	Adubo formulado	300 kg ha <sup>-1</sup>	Em linha na semeadura
	NPK (8-28-16) (Safrá 2016)	Adubo formulado	300 kg ha <sup>-1</sup>	Em linha na semeadura
	Thiamethoxam (Cruiser <sup>®</sup> 350 FS)	Inseticida sistêmico	120 ml 60.000 sementes <sup>-1</sup>	Tratamento de sementes
	Uréia (45% de N)	Fertilizante nitrogenado	200 kg ha <sup>-1</sup>	Aplicação a lanço em cobertura
	Cloreto de Potássio (60% de K <sub>2</sub> O)	Fertilizante potássico	150 kg ha <sup>-1</sup>	Aplicação a lanço em cobertura
	Atrazina (Atrazina Nortox <sup>®</sup> 500 SC)	Herbicida seletivo	4 L ha <sup>-1</sup>	Pulverização pós-emergente
	Tembotriona (Soberan <sup>®</sup> )	Herbicida seletivo	200 ml ha <sup>-1</sup>	Pulverização pós-emergente
	Sal de amônio Glyphosate (Roundup <sup>®</sup> WG)	Herbicida não seletivo	Dessecação: 3 kg.ha <sup>-1</sup> Pós-emergente: 1,5 kg ha <sup>-1</sup>	Pulverização pós-emergente e dessecação
	2,4-D (2,4-D Nortox <sup>®</sup> )	Herbicida seletivo	1,5 L ha <sup>-1</sup>	Dessecação

Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

### 3.1.5 Máquinas e equipamentos

Quadro 4. Máquinas e equipamentos utilizados na condução do experimento. (“Continua”)

<b>Maquina/equipamento</b>	<b>Especificações técnicas</b>	<b>Atividade realizada</b>
<b>Trator de pneus</b> John Deere 6110-J	- Tração: 4x2 (TDA). - Potência máxima no motor: 80,96 kW.	Semeadura e preparo primário do solo
<b>Trator de pneus</b> Massey Ferguson MF 283	- Tração: 4x2 (TDA). - Potência máxima no motor: 63,3 kW.	Preparo secundário do solo, distribuição de fertilizantes e corretivos e manejo da palhada.
<b>Trator de pneus</b> Massey Ferguson MF 660	- Tração: 4x2 (TDA). - Potência máxima no motor: 110.3kW.	Preparo primário do solo
<b>Trator de pneus</b> New Holland TL75 -E	- Tração: 4x2 (TDA). - Potência máxima no motor: 54,4 kW	Aplicação de defensivos agrícolas
<b>Triturador horizontal de palha</b>	Equipamento montado no sistema de três pontos com acionamento via TDP.	Manejo da cobertura do solo
<b>Arado aiveca</b> Ikeda, modelo MF 3 R	Três aivecas modelo recortadas com largura de corte de 1200 mm, altura do chassis de 720 mm e peso total de 540 kg.	Preparo primário do solo (Aração)
<b>Grade pesada</b> Super Tatu, modelo GAPCR 360	Grade pesada de controle remoto de 14 discos recortados com diâmetro de 32” x 9,0 mm, espaçamento entre discos de 360 mm, peso 157 kg.disco <sup>-1</sup> .	Preparo primário do solo (Gradagem pesada)
<b>Grade leve</b>	Grade leve de 32 discos com diâmetro de 22”.	Preparo secundário do solo (Nivelamento e destorroamento do solo)
<b>Subsolador/Escarificador</b> Jan, modelo Jumbo Matic	Implemento de arrasto com 5 hastes, espaçamento entre hastes de 0,40m, ponteira de 5cm, disco de corte de 22” e rolo destorroador.	Preparo primário do solo (Escarificação do solo e destorroamento)

Quadro 4. Máquinas e equipamentos utilizados na condução do experimento. (“Conclusão”)

<b>Semeadora/Adubadora:</b> Marchesan Suprema Ultra flex	Semeadora - adubadora de precisão, de distribuição pneumática de sementes, de arrasto, configurada com discos de corte frontal lisos, sulcadores para deposição de adubo do tipo haste e discos duplos desencontrados para deposição de sementes, com sete linhas espaçadas de 0,45 m.	Semeadura das culturas de soja e milho
<b>Pulverizador:</b> Jacto, modelo CONDOR 800	Pulverizador montado, com barra de 14,0 m, capacidade de 800 litros, espaçamento entre bicos de 0,50 m, com duplo suporte de porta pontas de jato plano, constituídas pelos modelos CVI-110-02 e AVI TWIN 110-03.	Aplicação de defensivos agrícolas por meio de pulverização
<b>Distribuidor de corretivos</b>	Equipamento de arrasto, com mecanismo distribuidor de discos duplos giratórios e mecanismo dosador volumétrico tipo esteira.	Aplicação de corretivos (Calcário e gesso)
<b>Distribuidor fertilizantes:</b> Vicom	Equipamento montado ao sistema de três pontos do trator. Mecanismo dosador tipo gravitacional e distribuidor tipo disco giratório	Aplicação de fertilizantes (Uréia e cloreto de potássio)
<b>Trilha e degrana mecânica</b>	Trilhadora estacionária de acionamento elétrico	Trilha e degrana das culturas de soja e milho
<b>Colhedora de grãos:</b> Massey Ferguson - MF 3640	Colhedora automotriz com plataforma de corte e milho.	Colheita das culturas de soja e milho.

Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

## 3.2 MÉTODOS

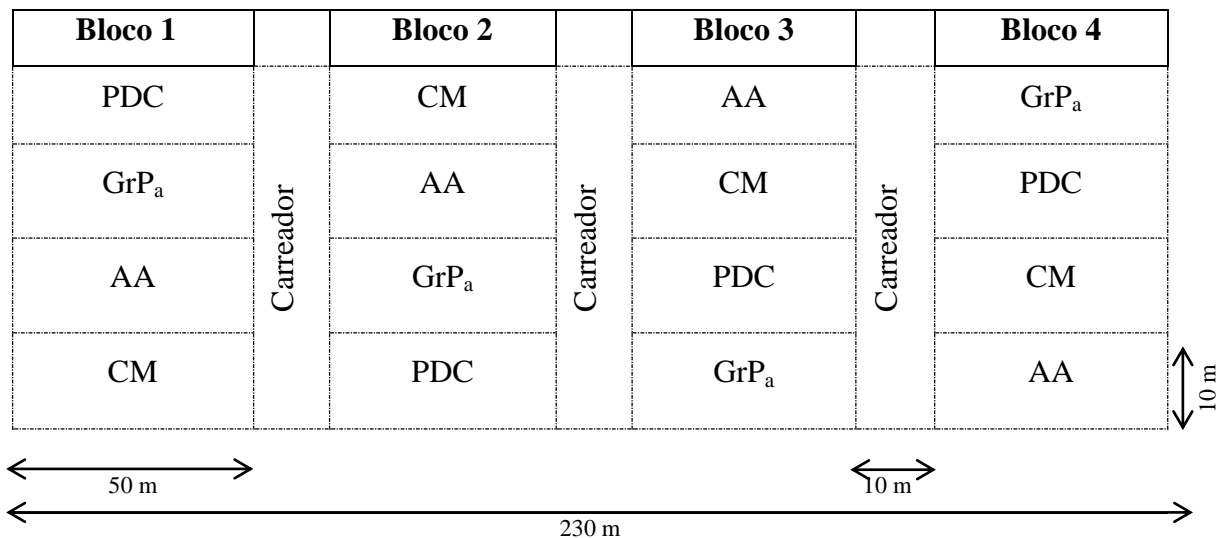
### 3.2.1 Delineamento experimental

#### 3.2.1.1 Soja safra verão 2014/2015



O delineamento experimental utilizado no primeiro ano de condução foi o de blocos ao acaso, com quatro tratamentos e quatro repetições. As parcelas experimentais foram constituídas de 21 linhas de soja espaçadas por 0,45 m, com 50 m de comprimento (472,5 m<sup>2</sup>), carreadores de 10 m para manobras das máquinas e equipamentos e área útil de 63 m<sup>2</sup> correspondente às sete linhas centrais, com cinco metros cada, descontando a bordadura de 15 metros em cada extremidade (Figura 5).

Figura 5. Croqui da área experimental na safra de soja verão 2014/2015.



Fonte: Elaborado pelo autor.

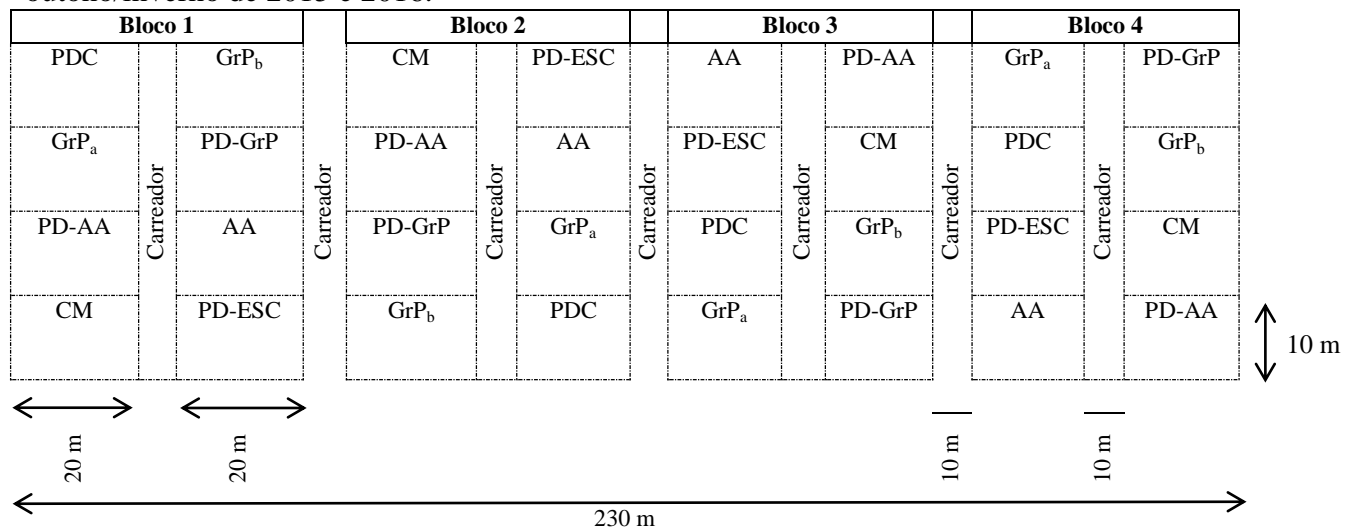
#### Tratamentos:

- Plantio Direto Contínuo (PDC) - Mobilização do solo realizada pelo mecanismo sulcador tipo haste da semeadora/adubadora com profundidade de trabalho até 0,12 m;
- Preparo convencional com arado de aiveca (AA) - Preparo primário do solo com arado de aiveca e profundidade de trabalho de 0,30 m + Preparo secundário com grade leve;
- Preparo convencional com grade pesada implantado na safra verão 2014/2015 (GrP<sub>a</sub>) - Preparo primário do solo com grade pesada e profundidade de trabalho de 0,25 m + Preparo secundário com grade leve;
- Cultivo mínimo com escarificador (CM) - Mobilização do solo realizada com subsolador/escarificador com profundidade de trabalho de 0,40 m.

### 3.2.1.2 Soja safra verão 2015/16 e milho safra outono/inverno 2015 e 2016

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso, com oito tratamentos e quatro repetições. As parcelas experimentais foram constituídas de 21 linhas para soja espaçadas por 0,45 m, e 21 linhas para milho espaçadas por 0,45 m, com 20 m de comprimento ( $189 \text{ m}^2$ ), carreadores de 10 m para manobras das máquinas e equipamentos e área útil correspondente às sete linhas centrais, com cinco metros cada, descontando a bordadura de 7,5 metros em cada extremidade ( $15,75 \text{ m}^2$ ) (Figura 6).

Figura 6. Croqui da área experimental na safra de soja verão 2015/2016 e safras de milho outono/inverno de 2015 e 2016.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Os tratamentos foram:

- Plantio Direto Contínuo (PDC) - Mobilização do solo realizada pelo mecanismo sulcador tipo haste da semeadora/adubadora com profundidade de trabalho até 0,12 m (Figura 7);
- Preparo convencional com arado de aiveca (AA) – Preparo primário do solo com arado de aiveca com profundidade de trabalho de 0,30 m. + Preparo secundário com grade leve (Figura 8);
- Preparo convencional com grade pesada implantado na safra verão 2014/2015 (GrP<sub>a</sub>) - Preparo primário do solo realizado com grade pesada com profundidade de trabalho de 0,25 m. + Preparo secundário com grade leve (Figura 9);
- Preparo convencional com grade pesada implantado na safra outono/inverno de 2015 (GrP<sub>b</sub>) - Preparo primário do solo realizado com grade pesada com profundidade de trabalho de 0,25 m. + Preparo secundário com grade leve;

- Cultivo mínimo com escarificador (CM) - Mobilização do solo realizada com subsolador/escarificador com profundidade de trabalho de 0,40 m (Figura 10);
- Plantio direto sobre gradagem (PD-GrP) - Semeadura direta em área de gradagem da safra verão 2014/15;
- Plantio direto sobre aração (PD-AA) - Semeadura direta em área de aração da safra verão 2014/15;
- Plantio direto sobre escarificação (PD-ESC) - Semeadura direta em área de escarificação da safra verão 2014/15.

Figura 7. Semeadura do milho em sistema de plantio direto contínuo (SPD) na safra outono/inverno 2016.



Fonte: Próprio autor.

Figura 8. Preparo de solo convencional com arado de aiveca (AA), safra outono/inverno de 2016.



Fonte: Próprio autor.

Figura 9. Preparo convencional de solo com grade pesada (GrP), safra outono/inverno de 2016.



Fonte: Próprio autor.

Figura 10. Preparo reduzido do solo com escarificador (ESC), safra outono/inverno de 2016.



Fonte: Próprio autor.

Figura 11. Visão geral da área experimental no momento da semeadura safra outono/inverno de 2016.



Fonte: Próprio autor.

Tabela 2. Número de safras agrícolas repetindo os manejos de solo na área experimental.

Manejos de solo	Safras			
	Soja 2014/2015	Milho 2015	Soja 2015/2016	Milho 2016
PDC	31 <sup>a</sup> safra	32 <sup>a</sup> safra	33 <sup>a</sup> safra	34 <sup>a</sup> safra
AA	1 <sup>a</sup> safra	2 <sup>a</sup> safra	3 <sup>a</sup> safra	4 <sup>a</sup> safra
GrP <sub>a</sub>	1 <sup>a</sup> safra	2 <sup>a</sup> safra	3 <sup>a</sup> safra	4 <sup>a</sup> safra
CM	1 <sup>a</sup> safra	2 <sup>a</sup> safra	3 <sup>a</sup> safra	4 <sup>a</sup> safra
GrP <sub>b</sub>	--	1 <sup>a</sup> safra	2 <sup>a</sup> safra	3 <sup>a</sup> safra
PD - AA	--	1 <sup>a</sup> safra	2 <sup>a</sup> safra	3 <sup>a</sup> safra
PD - GrP	--	1 <sup>a</sup> safra	2 <sup>a</sup> safra	3 <sup>a</sup> safra
PD - ESC	--	1 <sup>a</sup> safra	2 <sup>a</sup> safra	3 <sup>a</sup> safra

Plantio direto contínuo (PDC); Preparo convencional com arado de aiveca (AA); Preparo convencional com grade pesada implantado na safra verão 2014/2015 (GrP<sub>a</sub>); Preparo convencional com grade pesada implantado na safra outono/inverno de 2015 (GrP<sub>b</sub>); Cultivo mínimo com escarificador (CM); Plantio direto sobre gradagem da safra verão 2014/15 (PD-GrP); Plantio direto sobre aração (PD-AA) e Plantio direto sobre escarificação (PD-ESC).

### 3.2.2 Análise Estatística

Os dados foram submetidos ao Teste F considerando os níveis de significância de 1% ( $p < 0,01$ ) e 5% ( $p < 0,05$ ), no programa Assistat Versão 7.6 beta e quando necessário foi aplicado o Teste de Tukey ( $p < 0,05$ ) para comparação das médias entre os manejos de solo.

A análise de variância (Teste F) para o delineamento experimental em blocos casualizados ficou composta dos seguintes graus de liberdade (Quadros 5, 6 e 7).

Quadro 5. Análise de variância do delineamento experimental dos atributos físicos do solo.

<b>Causas de variação</b>	<b>G.L.</b>
Preparo de solo (P)	7
Época de amostragem (E)	2
Interação P x E	14
Tratamentos	23
Blocos	3
Resíduo	69
<b>Total</b>	<b>95</b>

Quadro 6. Análise de variância para o delineamento em blocos casualizados, para safra verão 2014/2015.

<b>Causas de variação</b>	<b>G.L.</b>
Preparo de solo	3
Blocos	3
Resíduo	9
<b>Total</b>	<b>15</b>

Quadro 7. Análise de variância para o delineamento em blocos casualizados, para safra verão 2015/2016 e safra outono/inverno 2015 e 2016.

<b>Causas de variação</b>	<b>G.L.</b>
Preparo de solo	7
Blocos	3
Resíduo	21
<b>Total</b>	<b>31</b>

### 3.2.3 Determinação dos atributos físicos do solo

Os atributos físicos do solo foram avaliados em três épocas: antes da implantação do experimento em 2014, após a colheita do milho safra outono/inverno 2015 e após a colheita do milho safra outono/inverno 2016. Avaliou-se: densidade do solo (Ds), macroporosidade (Ma), microporosidade (Mi) e porosidade total do solo (Pt), pelo método de monólitos indeformados, coletados em anéis de volume conhecido, retirados com amostradores de Uhland, nas camadas de 0,0 a 0,10; 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m de profundidade, segundo metodologia da Embrapa (1997), as análises foram realizada no Laboratório de física do Solo da Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira – FEIS/UNESP.

### 3.2.4 Avaliações fitotécnicas e componentes de produção nas culturas de soja e milho

- **População inicial e final de plantas:** Para determinar população inicial e final foi contada as plantas presentes em três linhas de cinco metros de comprimento, 15 dias após a emergência das plantas (População inicial) e na colheita (População final) das culturas de soja e milho. Os valores encontrados foram extrapolados para número de plantas ha<sup>-1</sup>.

- **Altura de planta:** A altura média de planta de soja foi determinada, com régua graduada em centímetros, medindo a distância entre o colo da planta até a extremidade apical. A altura média das plantas de milho foi determinada medindo a distância entre o colo da planta até a inserção da folha bandeira. Foram tomadas medidas de dez plantas da área útil da parcela.

**Altura de inserção de 1ª vagem e número de vagens por planta:** Para a altura média de inserção de primeira vagem foi adotada a distância entre o colo da planta e a inserção da primeira vagem. Foram tomadas medidas de dez plantas da área útil da parcela, na época da colheita. Nessas mesmas plantas foi determinado o número de vagens considerando apenas as vagens viáveis.

- **Altura de inserção de 1ª espiga:** A altura de inserção de 1ª espiga foi determinada pela medição, com régua graduada em centímetros, medindo a distância entre o colo da planta até a base da espiga avaliada. Foram tomadas medidas de cinco plantas da área útil da parcela, na época da colheita.

- **Número de fileiras de grãos por espiga e número de grãos por fileira:** Para essas avaliações foram contados o número de fileiras e o número de grãos por fileira de cinco espigas de cada parcela, escolhidas aleatoriamente dentro da área útil, na época da colheita.

- **Produção de grãos:** Para avaliar a produtividade de grãos de soja, foram colhidas manualmente às plantas de três linhas com cinco metros de comprimento, dentro da área útil da parcela e submetida à trilha mecânica. Após a debulha foram pesados os grãos e a massa de grãos foi corrigida para a base úmida de 13%, conforme a equação 1.

Para estimar a produtividade de grãos da cultura do milho, foram coletadas as espigas de três linhas de 5 metros dentro da área útil de cada parcela e as mesmas foram trilhadas com auxílio de 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).

Após transformar a massa dos grãos à base de 13%, a produção de grãos foi transformada em kg ha<sup>-1</sup>.

$$P = I \times \frac{(100-U)}{(100-13)} \quad (1)$$

Onde:

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

U = teor de água atual dos grãos, em %;

I = massa inicial da amostra.

- **Massa de mil grãos:** Para determinação fez-se 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.



**- Produção de matéria seca da palhada da soja e do milho:** Foram pesadas todas as plantas da área útil da parcela, após a trilha descontou-se o peso dos grãos obtendo-se assim o peso da massa de matéria verde da palhada. Foi retirada uma 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, realizou-se o cálculo da produção de matéria seca de palhada por hectare.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Atributos físicos do solo

A macroporosidade na camada de 0,00-0,10 m de profundidade foi estatisticamente diferente ( $p < 0,05$ ) entre os sistemas de preparo e entre as épocas de amostragem (Tabela 3). O plantio direto contínuo (PDC) apresentou menor valor de macroporosidade com diferenças significativas comparado ao cultivo mínimo (CM) e sistema de preparo convencional com aração (AA). Entre PDC, PD-GrP, PD-AA e PD-ESC não houve diferenças estatísticas significativas. Essas diferenças podem ocorrer devido ao solo do plantio direto contínuo receber acúmulo de carga proveniente do tráfego de máquinas com o passar dos anos (COLLARES et al., 2008). Esses resultados deixam evidente que a utilização das hastes sulcadora na semeadora-adubadora não são suficientes para reverter o efeito de diminuição da macroporosidade do solo na camada superficial de 0,00-0,10 m, sendo indispensável uma intervenção no sistema de plantio direto para manutenção da qualidade física do solo. Outro fator que contribuiu para essa diminuição no espaço poroso do solo é a dificuldade de formação de palhada em sistemas de plantio direto em áreas irrigadas do cerrado brasileiro. MELLO et al. (2013) deixa evidente que a dificuldade de formação de palha em sistema de plantio direto no cerrado brasileiro ocorre devido ao clima quente e alta umidade do solo proveniente do sistema de irrigação, acelerando a decomposição da palhada de milho e soja, permitindo assim um solo exposto e susceptível aos efeitos de compactação causados pelo tráfego de máquinas.

Nas camadas de 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m de profundidade não houve diferenças significativas entre os tratamentos de preparo de solo.

Os valores de macroporosidade para as diferentes épocas de amostragem do solo apresentaram diferenças significativas pelo teste F para todas as camadas de solo avaliadas (Tabela 3). Na camada de 0,00-0,10 m, houve aumento de 63% na macroporosidade na avaliação realizada após a colheita do milho de 2016 (E3) em relação à amostragem feita antes da instalação do experimento (E1). Na camada de 0,10-0,20 m o aumento foi de 50% na macroporosidade do solo entre a E3 e E1. Com esses resultados fica evidente o efeito da mobilização na aeração do solo.

Na profundidade de 0,20-0,30 m houve aumento significativo da macroporosidade do solo apenas para segunda época de avaliação (E2) e na terceira época de avaliação (E3) o valor se iguala estatisticamente a amostragem feita antes da instalação do experimento (E1),

com isso percebe-se que o efeito residual da mobilização do solo, dos diferentes sistemas de preparo dura aproximadamente duas safras para essa profundidade.

Tabela 3. Valores de macroporosidade do solo nas camadas de 0,00-0,10, 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m de profundidade para diferentes sistemas de preparos e época de amostragem do solo.

Causas de variação		Profundidade (m)		
		0,00-0,10	0,10-0,20	0,20-0,30
		Macroporosidade (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )		
Preparos (P)	PDC	0,045 c	0,058	0,060
	PD – GrP	0,065 abc	0,055	0,061
	PD – AA	0,073 abc	0,063	0,050
	PD – ESC	0,060 bc	0,063	0,070
	GrP <sub>a</sub>	0,086 abc	0,049	0,054
	GrP <sub>b</sub>	0,072 abc	0,067	0,059
	AA	0,110 a	0,057	0,061
	CM	0,097 ab	0,068	0,061
Épocas (E)	Antes do experimento (E1)	0,049 b	0,042 b	0,046 b
	Após a colheita do milho 2015 (E2)	0,099 a	0,074 a	0,077 a
	Após a colheita do milho 2016 (E3)	0,080 a	0,063 a	0,058 b
Teste F	P	3,84*	1,16 <sup>ns</sup>	0,65 <sup>ns</sup>
	E	15,07*	19,98*	10,88*
	P x E	1,60 <sup>ns</sup>	1,98*	0,41 <sup>ns</sup>
DMS	P	0,047	0,026	0,032
	E	0,022	0,012	0,015
CV (%)		48,65	34,60	42,43

\* significativo em nível de 5% de significância ( $p < 0,05$ ); <sup>ns</sup> não significativo em nível de 5% de significância ( $p > 0,05$ ) pelo teste F. Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey para um nível de 5% de significância. Sistema de plantio direto contínuo (PDC); Preparo convencional com arado de aiveca (AA); Preparo convencional com grade pesada implantado na safra verão 2014/2015 (GrP<sub>a</sub>); Preparo convencional com grade pesada implantado na safra outono/inverno de 2015 (GrP<sub>b</sub>); Cultivo mínimo com escarificador (CM); Plantio direto sobre gradagem da safra verão 2014/15 (PD-GrP); Plantio direto sobre aração (PD-AA) e Plantio direto sobre escarificação (PD-ESC). DMS: Diferença mínima significativa. CV: Coeficiente de variação.

Lanzanova et al. (2007) afirmam que valores de macroporosidade do solo menores que 0,10 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup> tornam-se crítico para o desenvolvimento das culturas, no entanto, apesar dos valores obtidos neste trabalho serem inferior ao dos autores, as culturas de soja e milho atingiram altas médias de produtividade, fato evidenciado também por Mendonça et al. (2013).

Os valores de macroporosidade para o desdobramento da interação entre os preparo de solo e épocas de amostragem na profundidade de 0,10-0,20 m estão na Tabela 4.

Tabela 4. Médias de macroporosidade do solo ( $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ ) na profundidade de 0,10-0,20 m para interação entre sistemas de preparos (P) e épocas de amostragens de solo (E).

Causas de variação		Épocas (E)		
		E1	E2	E3
		Macroporosidade ( $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ )		
Preparos (P)	PDC	0,046 aA	0,063 aA	0,065 abA
	PD – GrP	0,026 aB	0,062 aA	0,076 aA
	PD – AA	0,046 aA	0,070 aA	0,071 abA
	PD – ESC	0,057 aA	0,082 aA	0,048 abA
	GrP <sub>a</sub>	0,025 aB	0,087 aA	0,034 bB
	GrP <sub>b</sub>	0,039 aB	0,071 aAB	0,091 aA
	AA	0,045 aA	0,073 aA	0,052 abA
	CM	0,053 aA	0,085 aA	0,064 abA
DMS	Épocas (E)	0,035		
	Preparos (P)	0,046		

Médias seguidas de mesmas letras minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas não se diferem entre si pelo teste de Tukey para um nível de 5% de significância. Plantio direto contínuo (PDC); Preparo convencional com arado de aiveca (AA); Preparo convencional com grade pesada implantado na safra verão 2014/2015 (GrP<sub>a</sub>); Preparo convencional com grade pesada implantado na safra outono/inverno de 2015 (GrP<sub>b</sub>); Cultivo mínimo com escarificador (CM); Plantio direto sobre gradagem da safra verão 2014/15 (PD-GrP); Plantio direto sobre aração (PD-AA) e Plantio direto sobre escarificação (PD-ESC). DMS: Diferença mínima significativa. CV: Coeficiente de variação.

Comparando os dois tratamentos com grade pesada, verificou-se que na safra do milho de 2015 o preparo de solo GrP<sub>a</sub> (segunda safra com uso contínuo de grade) teve o valor de macroporosidade estatisticamente igual ao GrP<sub>b</sub> (primeira safra com uso de grade). Quando observou-se os valores da safra de milho 2016 estes apresentam diferenças significativas sendo que GrP<sub>a</sub> estava na quarta safra com uso contínuo de grade pesada e o GrP<sub>b</sub> estava na terceira safra com uso contínuo do equipamento. Com isso fica evidente que a utilização constante de grade pesada começa a causar redução nos valores de macroporosidade na camada de solo de 0,10-0,20 m a partir de três safras. Gadanha Júnior et al., (1991) considera que um dos fatores que contribui com essa redução do espaço poroso do solo é a sua desestruturação excessiva, devido a utilização de grades.

Os valores de microporosidade do solo (Tabela 5) foram estatisticamente iguais entre os preparos e não apresentaram interação significativa entre as causas de variação nas três profundidades avaliadas no experimento. Entre as épocas de amostragem de solo houve diferenças significativas para as camadas analisadas.

O comportamento dos valores de microporosidade foi semelhante em todas as camadas avaliadas, sendo que os maiores valores foram encontrados nas amostragens de solo realizadas após a colheita do milho de 2015. E sofrendo uma redução após a colheita do milho de 2016. Um dos fatores que contribuiu com essa redução da microporosidade é a

reorganização da estrutura do solo no decorrer do tempo, observadas principalmente nos sistemas de plantio direto recém-implantados sobre os preparos de solo com aração, gradagem e escarificação.

Tabela 5. Valores de microporosidade do solo nas camadas de 0,0-0,10, 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m de profundidade para diferentes sistemas de preparo e época de amostragem de solo.

Causas de variação		Profundidade (m)		
		0,00-0,10	0,10-0,20	0,20-0,30
		Microporosidade (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )		
Preparos (P)	PDC	0,36	0,34	0,35
	PD – GrP	0,36	0,34	0,34
	PD – AA	0,37	0,34	0,35
	PD – ESC	0,35	0,34	0,35
	GrP <sub>a</sub>	0,36	0,36	0,35
	GrP <sub>b</sub>	0,38	0,35	0,35
	AA	0,35	0,35	0,35
	CM	0,36	0,35	0,35
Épocas (E)	Antes do experimento (E1)	0,35 b	0,34 b	0,35 b
	Após a colheita do milho 2015 (E2)	0,40 a	0,37 a	0,37 a
	Após a colheita do milho 2016 (E3)	0,33 b	0,33 c	0,32 c
Teste F	P	1,46 <sup>ns</sup>	1,52 <sup>ns</sup>	0,22 <sup>ns</sup>
	E	50,46*	30,51*	23,63*
	P x E	1,35 <sup>ns</sup>	0,90 <sup>ns</sup>	0,79 <sup>ns</sup>
DMS	P	0,03	0,03	0,04
	E	0,01	0,01	0,02
CV (%)		7,70	6,84	8,15

\* significativo em nível de 5% de significância ( $p < 0,05$ ); <sup>ns</sup> não significativo em nível de 5% de significância ( $p > 0,05$ ) pelo teste F. Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey para um nível de 5% de significância. Plantio direto contínuo (PDC); Preparo convencional com arado de aiveca (AA); Preparo convencional com grade pesada implantado na safra verão 2014/2015 (GrP<sub>a</sub>); Preparo convencional com grade pesada implantado na safra outono/inverno de 2015 (GrP<sub>b</sub>); Cultivo mínimo com escarificador (CM); Plantio direto sobre gradagem da safra verão 2014/15 (PD-GrP); Plantio direto sobre aração (PD-AA) e Plantio direto sobre escarificação (PD-ESC). DMS: Diferença mínima significativa. CV: Coeficiente de variação.

Para os valores de porosidade total do solo (Tabela 6) na camada de 0,00-0,10 m houve diferenças significativas entre os tratamentos com mobilização do solo (GrP<sub>a</sub>, GrP<sub>b</sub>, AA e CM) sendo estes que apresentaram os maiores valores para este atributo e o Plantio direto contínuo (PDC) os menores valores. Isso já era o esperado, pois o volume total de poros é constituído pela somatória entre a macroporosidade e a microporosidade do solo. E como já discutido, houve um aumento significativo da macroporosidade do solo para os

tratamentos com mobilização do solo. Nas demais camadas de solo não houve diferença estatística entre os tratamentos.

Tabela 6. Valores de porosidade total do solo nas camadas de 0,00-0,10, 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m de profundidade para diferentes sistemas de preparo e época de amostragem de solo.

Causas de variação		Profundidade (m)		
		0,00-0,10	0,10-0,20	0,20-0,30
		Porosidade total (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )		
Preparos (P)	PDC	0,40 c	0,40	0,41
	PD - GrP	0,43 abc	0,40	0,40
	PD - AA	0,44 ab	0,40	0,40
	PD - ESC	0,41 bc	0,40	0,42
	GrP <sub>a</sub>	0,45 a	0,41	0,41
	GrP <sub>b</sub>	0,45 a	0,41	0,41
	AA	0,46 a	0,41	0,41
	CM	0,46 a	0,42	0,41
Épocas (E)	Antes do experimento (E1)	0,39 c	0,38 b	0,40 b
	Após a colheita do milho 2015 (E2)	0,49 a	0,45 a	0,45 a
	Após a colheita do milho 2016 (E3)	0,41 b	0,39 b	0,38 c
Teste F	P	6,75*	1,51 <sup>ns</sup>	111,12 <sup>ns</sup>
	E	115,25*	70,71*	1,08*
	P x E	2,16 <sup>ns</sup>	1,31 <sup>ns</sup>	0,81 <sup>ns</sup>
DMS	P	0,04	0,03	0,02
	E	0,02	0,01	0,01
CV (%)		6,64	5,73	4,45

\* significativo em nível de 5% de significância ( $p < 0,05$ ); <sup>ns</sup> não significativo em nível de 5% de significância ( $p > 0,05$ ) pelo teste F. Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey para um nível de 5% de significância. Plantio direto contínuo (PDC); Preparo convencional com arado de aiveca (AA); Preparo convencional com grade pesada implantado na safra verão 2014/2015 (GrP<sub>a</sub>); Preparo convencional com grade pesada implantado na safra outono/inverno de 2015 (GrP<sub>b</sub>); Cultivo mínimo com escarificador (CM); Plantio direto sobre gradagem da safra verão 2014/15 (PD-GrP); Plantio direto sobre aração (PD-AA) e Plantio direto sobre escarificação (PD-ESC). DMS: Diferença mínima significativa. CV: Coeficiente de variação.

Os valores de porosidade total encontrados nas diferentes épocas de amostragem do solo foram diferentes estatisticamente. Na profundidade de 0,00-0,10 m o maior volume de poros foi encontrado em E2 com diferença de 19,5% para a E3. Ainda nessa profundidade observamos um aumento do volume total de poros de 5% para E3 em relação a E1.

O volume de poros na profundidade de 0,10-0,20 m foi maior em E2 sendo superior em 18 e 15% de E1 e E3 respectivamente. Na camada de 0,20-0,30 m de profundidade o volume total de poros foi menor em E3 com diferença significativa ( $p < 0,05$ ) para as demais épocas. Esse resultado pode ser atribuído ao fato de que os preparos com grade pesada (GrP<sub>a</sub> e GrP<sub>b</sub>)

tiveram profundidade de trabalho de 0,25 m causando uma compactação nessa profundidade (“pé de grade”). E esse fator, associando ao número de vezes com que o equipamento foi utilizado (Tabela 2) até a safra de milho de 2016, deixa evidente esse efeito de compactação dentro dessa camada de 0,20-0,30 m de profundidade. Segundo Gadanha Júnior et al. (1991) e Silveira (1989), a grade pesada causa espelhamento no fundo do sulco, o que aumenta a densidade e reduz a infiltração de água no solo. Além disto proporciona maior desagregação do solo e somente consegue romper camadas compactadas localizadas mais próximas à superfície do solo.

Os valores de densidade do solo (Tabela 7) se diferenciam significativamente entre os sistemas de preparo nas camadas de 0,00-10 m e 0,20-30 m de profundidade.

Tabela 7. Valores de densidade do solo nas camadas de 0,00-0,10, 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m de profundidade para diferentes sistemas de preparos e época de amostragem de solo.

Causas de variação		Profundidade (m)		
		0,00-0,10	0,10-0,20	0,20-0,30
		Densidade do solo (kg dm <sup>-3</sup> )		
Preparos (P)	PDC	1,56 a	1,60	1,60 ab
	PD - GrP	1,53 ab	1,61	1,60 a
	PD - AA	1,49 ab	1,60	1,59 ab
	PD - ESC	1,56 a	1,61	1,56 bc
	GrP <sub>a</sub>	1,46 b	1,57	1,60 ab
	GrP <sub>b</sub>	1,44 b	1,56	1,59 ab
	AA	1,45 b	1,60	1,58 abc
	CM	1,46 b	1,55	1,54 c
Épocas (E)	Antes do experimento (E1)	1,56 a	1,62 a	1,59 b
	Após a colheita do milho 2015 (E2)	1,39 b	1,54 b	1,55 c
	Após a colheita do milho 2016 (E3)	1,53 a	1,61 a	1,62 a
Teste F	P	5,38*	1,34 <sup>ns</sup>	2,16*
	E	48,24*	12,61*	15,08*
	P x E	1,69 <sup>ns</sup>	1,02 <sup>ns</sup>	1,93*
DMS	P	0,09	0,09	0,04
	E	0,04	0,04	0,02
CV (%)		4,88	4,61	3,24

\* significativo em nível de 5% de significância ( $p < 0,05$ ); <sup>ns</sup> não significativo em nível de 5% de significância ( $p > 0,05$ ) pelo teste F. Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey para um nível de 5% de significância. Plantio direto contínuo (PDC); Preparo convencional com arado de aiveca (AA); Preparo convencional com grade pesada implantado na safra verão 2014/2015 (GrP<sub>a</sub>); Preparo convencional com grade pesada implantado na safra outono/inverno de 2015 (GrP<sub>b</sub>); Cultivo mínimo com escarificador (CM); Plantio direto sobre gradagem da safra verão 2014/15 (PD-GrP); Plantio direto sobre aração (PD-AA) e Plantio direto sobre escarificação (PD-ESC). DMS: Diferença mínima significativa. CV: Coeficiente de variação.

A camada mais superficial do solo apresentou os maiores valores de densidade para os tratamentos que utilizam o plantio direto (PDC, PD-GrP, PD-AA e PD-ESC) e os menores valores para os preparos com mobilização do solo (GrP<sub>a</sub>, AA, GrP<sub>b</sub>, e CM).

Na profundidade de 0,20-0,30 m cultivo mínimo (CM) e o plantio direto sobre escarificação (PD-ESC) tiveram os menores valores de densidade do solo, resultado que pode ser atribuído à profundidade de trabalho do escarificador de 0,40 m, deixando o solo mais solto e conseqüentemente menos denso. O arado de aiveca e grade pesada realizam o trabalho de corte do solo até 0,30 m de profundidade, causando um aumento da densidade do solo devido ao arrasto dos órgãos ativos desses implementos na camada de 0,20-0,30 m de profundidade.

Os menores valores de densidade do solo foram encontrados após a colheita do milho do ano de 2015 se diferenciando significativamente dos maiores valores encontrados antes da instalação do experimento e após a colheita do milho de 2016 para as três camadas de solo avaliadas, mostrando-se coerente com os valores de macroporosidade e da porosidade total.

O desdobramento da interação entre época de amostragem e sistemas de preparo do solo para densidade do solo na profundidade de 0,20-0,30 m (Tabela 8) deixa evidente que, após uma safra PD-GrP, PD-AA e PD-ESC possuem valores de densidade do solo semelhante ao PDC com 34 safras. Seki et al. (2015) evidenciam em seu trabalho que não houve diferença entre os valores de densidade obtidos antes da implantação do experimento e após a colheita do milho 11 meses após o preparo do solo. Ralisch et al. (2001) concluíram que a escarificação tem efeito de redução da densidade do solo somente para uma safra, não tendo efeito residual para safras subsequentes.

O cultivo mínimo (CM) mantém ao longo de quatro safras (dois anos) no caso deste experimento os menores valores de densidade do solo com diferença significativa em relação ao plantio direto contínuo (PDC). Camara e Klein (2005) e Nicoloso et al. (2008), também observaram redução da densidade do solo, em preparo de solo com o uso do escarificador comparado ao sistema de plantio direto.

Os preparos convencionais com grade pesada (GrP<sub>a</sub> e GrP<sub>b</sub>) causaram aumento na densidade do solo a partir de duas safras consecutivas, na profundidade de 0,20-0,30 m. Este resultado está relacionado com a profundidade de trabalho do equipamento, já citado anteriormente.



Tabela 8. Médias de densidade do solo ( $\text{kg}\cdot\text{dm}^{-3}$ ) na profundidade de 0,20-0,30 m para interação entre sistemas de preparos (P) e épocas de amostragens de solo (E).

Causas de variação		Épocas (E)		
		E1	E2	E3
		Densidade do solo ( $\text{kg}\ \text{dm}^{-3}$ )		
Preparos (P)	PDC	1,54 cB	1,60 aAB	1,65 aA
	PD - GrP	1,62 abA	1,54 abB	1,64 abA
	PD - AA	1,59 abcAB	1,55 abB	1,63 abcA
	PD - ESC	1,55 bcB	1,49 bB	1,64 abA
	GrP <sub>a</sub>	1,59 abcA	1,60 aA	1,60 abcA
	GrP <sub>b</sub>	1,56 bcAB	1,55 abAB	1,62 abcA
	AA	1,64 aA	1,52 bB	1,58 bcAB
	CM	1,55 bcA	1,51 bA	1,56 cA
DMS	Épocas (E)	0,07		
	Preparos (P)	0,07		

Médias seguidas de mesmas letras minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas não se diferem entre si pelo teste de Tukey para um nível de 5% de significância. Plantio direto contínuo (PDC); Preparo convencional com arado de aiveca (AA); Preparo convencional com grade pesada implantado na safra verão 2014/2015 (GrP<sub>a</sub>); Preparo convencional com grade pesada implantado na safra outono/inverno de 2015 (GrP<sub>b</sub>); Cultivo mínimo com escarificador (CM); Plantio direto sobre gradagem da safra verão 2014/15 (PD-GrP); Plantio direto sobre aração (PD-AA) e Plantio direto sobre escarificação (PD-ESC). DMS: Diferença mínima significativa. CV: Coeficiente de variação.

As médias de densidade do solo obtidas neste experimento foram maiores que o valor crítico ao crescimento radicular das culturas estabelecido por Carneiro et al. (2009), para solos argilosos, que foi de  $1,27\ \text{kg}\ \text{dm}^{-3}$ . Porém as culturas de soja e milho avaliadas apresentaram altos índices de produtividade. Fato evidenciado também por Chioderoli et al. (2012) e Mendonça et al. (2013) que realizaram trabalhos nesta mesma área.

De modo geral o cultivo mínimo promoveu melhoria na qualidade física do solo em relação aos demais sistemas de preparo avaliados neste experimento, principalmente na camada de 0,20-0,30 m de profundidade. Isso pode contribuir para que as culturas implantadas sob esse sistema explore de maneira eficiente a água e nutrientes no perfil do solo, possibilitando assim uma maior produtividade.

De acordo com os resultados obtidos nos tratamentos com plantio direto, o manejo com escarificação antes da instalação do sistema de plantio direto (PD-ESC) proporcionou melhores condições físicas do solo, para o desenvolvimento das culturas principalmente na camada de 0,20-0,30 m de profundidade.

A utilização da grade pesada por mais de duas safras consecutivas, aumentaram significativamente os valores de densidade do solo na camada de 0,20-0,30 m. E a partir de três safras a camada de 0,10-0,20 m começa a ter redução no volume de macroporos.

O plantio direto contínuo teve valores semelhantes de porosidade total e densidade no perfil do solo, a macroporosidade foi menor na camada mais superficial do solo e aumentando de acordo com a profundidade, e a microporosidade foi inversamente proporcional à macroporosidade. Silveira et al (2008) explicam em seu trabalho que existe alteração da estrutura do solo causada pelo uso contínuo do sistema de plantio direto, com aumento da densidade do solo e diminuição da macroporosidade, podendo provocar modificações no fluxo de água e nutriente do solo e atuar conseqüentemente na redução do desenvolvimento das culturas.

## **4.2 Parâmetros fenológicos e de produtividade da cultura da soja**

Os parâmetros fenológicos e de produtividades para cultura da soja foram avaliados em duas safras verão 2014/2015 e 2015/2016. Foi avaliada a população inicial, população final, índice de sobrevivência, altura de plantas, altura de inserção da primeira vagem, matéria seca da palhada, número de vagens por planta, massa de mil grãos e produtividade de grãos.

### **4.2.1 Soja safra verão 2014/2015**

A população inicial (Tabela 9) apresentaram valores com diferenças significativas entre os sistemas preparos de solo, sendo o sistema de plantio direto contínuo (PDC) com o menor número de plantas iniciais por hectare, essa diferença ocorreu devido o ataque de pássaros no momento da emergência das plântulas de soja, que foi mais concentrado neste sistema de cultivo. Outro fator que contribuiu com essa diferença foi compactação do solo na camada de 0,0-0,10 m de profundidade, formando torrões de solo no momento da abertura do sulco de plantio, realizado pelas hastes sulcadoras da semeadora-adubadora. Com isso o fechamento do sulco de semeadura não foi eficiente para garantir um contato ideal entre o solo e a semente, prejudicando assim a germinação das sementes e emergência de plântulas, quando comparado aos demais tratamentos. Sordi (2000) observou em seu trabalho que a maior compactação do solo sobre a semente, ou seja, um melhor fechamento de sulco de semeadura resulta em maior índice de sobrevivência de plantas.

A população final de plantas de soja recomendada para a variedade BMX potência RR para região do cerrado é de 250 a 300 mil plantas.ha<sup>-1</sup>. Os valores obtidos no preparo convencional de solo com grade pesada (GrP<sub>a</sub>) e arado de aiveca (AA) ficaram dentro da população recomendada, já os tratamentos de plantio direto contínuo (PDC) e o cultivo

mínimo (CM), o número de plantas de soja ficou abaixo do recomendado. Isso era esperado devido à população inicial para esses dois tratamentos terem sido menores.

O índice de sobrevivência foi maior para o preparo de solo com arado de aiveca.

Tabela 9. Valores de população inicial, final e sobrevivência da cultura da soja safra verão 2014/2015 em diferentes sistemas de preparo de solo.

Tratamentos	População (Plantas ha <sup>-1</sup> )		Sobrevivência (%)
	Inicial	Final	
PDC	279.630 b	221.385 c	78,18 b
GrP <sub>a</sub>	344.444 a	264.938 b	77,00 b
AA	338.889 a	292.592 a	86,13 a
CM	314.815 ab	241.728 bc	76,87 b
Valor F	10,9234**	30,6028**	1,86 <sup>ns</sup>
DMS	39.444	24.496	14,77
CV (%)	5,59	4,34	8,36

\*\* significativo em nível de 1% de significância ( $p < 0,01$ ); <sup>ns</sup> não significativo ( $p > 0,05$ ) pelo teste F. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey para um nível de 5% de significância. Plantio direto contínuo (PDC); Preparo convencional com arado de aiveca (AA); Preparo convencional com grade pesada implantado na safra verão 2014/2015 (GrP<sub>a</sub>); Cultivo mínimo com escarificador (CM). DMS: Diferença mínima significativa. CV: Coeficiente de variação.

Para altura de plantas, altura de inserção da primeira vagem e matéria seca da palha de soja (Tabela 10), não houve diferenças significativas entre as médias dos tratamentos.

Tabela 10. Valores de altura de plantas, altura de inserção da primeira vagem e matéria seca da palha da cultura da soja safra verão 2014/2015 em diferentes sistemas de preparo de solo.

Tratamentos	Altura (cm)		Matéria Seca da palha (kg ha <sup>-1</sup> )
	Plantas	Inserção da 1 <sup>a</sup> vagem	
PDC	110,37	13,57	5.719
GrP <sub>a</sub>	112,90	14,35	5.711
AA	111,02	13,42	5.475
CM	110,50	12,77	5.352
Valor F	0,24 <sup>ns</sup>	1,03 <sup>ns</sup>	0.52 <sup>ns</sup>
DMS	10,42	2,80	1.038
CV (%)	4,24	9,39	9,01

<sup>ns</sup> não significativo ( $p > 0,05$ ) pelo teste F. Plantio direto contínuo (PDC); Preparo convencional com arado de aiveca (AA); Preparo convencional com grade pesada implantado na safra verão 2014/2015 (GrP<sub>a</sub>); Cultivo mínimo com escarificador (CM). DMS: Diferença mínima significativa. CV: Coeficiente de variação.

O número de vagens por plantas (Tabela 11) foi maior para CM e PDC quando comparados a GrP<sub>a</sub> e AA.

A diferença da massa de mil grãos entre o plantio direto contínuo e o preparo convencional com grade pesada foi de 16,2 g, sendo o PDC que apresentou o maior valor entre todos os tratamentos.

Os diferentes sistemas de preparo de solo não influenciaram de maneira significativa a produtividade da cultura da soja. De modo geral, apesar dos componentes de produtividade número de vagens por planta e massa de mil grãos evidenciarem maiores valores para CM e PDC a população final nesses dois tratamentos foi menor significativamente comparado a AA e GrP<sub>a</sub>, assim justifica-se a igualdade da produtividade de grãos entre os tratamentos.

Tabela 11. Valores de número de vagens por planta, massa de mil grãos e produtividade de grãos da cultura da soja safra verão 2014/2015 em diferentes sistemas de preparo de solo.

Tratamentos	Número de vagens por planta	Massa de mil grãos (g)	Produtividade de grãos (kg ha <sup>-1</sup> )
PDC	68,87 a	165,77 a	4.897 a
GrP <sub>a</sub>	51,05 b	149,60 b	4.937 a
AA	47,10 b	157,32 ab	5.083 a
CM	74,85 a	159,77 ab	5.139 a
Valor F	16,05*	4,71*	0,34 <sup>ns</sup>
DMS	14,86	13,63	868,32
CV (%)	11,13	3,90	7,84

\* significativo em nível de 5% de significância ( $p < 0,05$ ); <sup>ns</sup> não significativo ( $p > 0,05$ ) pelo teste F. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey para um nível de 5% de significância. Plantio direto contínuo (PDC); Preparo convencional com arado de aiveca (AA); Preparo convencional com grade pesada implantado na safra verão 2014/2015 (GrP<sub>a</sub>); Cultivo mínimo com escarificador (CM). DMS: Diferença mínima significativa. CV: Coeficiente de variação.

#### 4.2.2 Soja safra verão 2015/2016

Para população inicial (Tabela 12) os maiores valores foram encontradas nos sistemas com plantio direto (PD-ESC, PD-AA, PD-GrP e PDC). O tratamento com GrP<sub>a</sub> que apresentou a menor população inicial de plantas de soja sendo diferente estatisticamente dos valores obtidos com plantio direto. Uma possível explicação para essa diferença no número inicial de plantas de soja entre os tratamentos com plantio direto e os tratamentos com mobilização total de solo, foi o alto teor de água no solo durante a operação de semeadura, esse fator em conjunto com a alta temperatura no decorrer do dia, favoreceu a formação de

um selamento superficial do solo no sulco de semeadura do plantio convencional e do cultivo mínimo, já que a presença de cobertura vegetal dos sistemas de plantio direto diminuiu o efeito de selamento superficial, pois, a cobertura vegetal distribuída pela superfície do solo, reduziu a perda de água e diminuiu a variação temperatura no solo.

O índice de sobrevivência de plantas de soja não foi influenciado pelos tratamentos. Com isso podemos dizer que a diferença encontrada entre os preparos de solo para a população final foi decorrente das diferenças de médias da população inicial.

Tabela 12. Valores de população inicial, final e sobrevivência da cultura da soja safra verão 2015/2016 em diferentes sistemas de preparo de solo.

Tratamentos	População (Plantas ha <sup>-1</sup> )		Sobrevivência (%)
	Inicial	Final	
PDC	281.111 ab	238.889 abc	85,14
PD - GrP	284.074 ab	248.148 ab	87,34
PD - AA	298.148 a	255.556 a	85,70
PD - ESC	307.037 a	252.593 ab	82,19
GrP <sub>a</sub>	241.482 c	224.074 bc	92,76
GrP <sub>b</sub>	279.259 abc	257.407 a	92,28
AA	247.778 bc	212.963 c	85,88
CM	278.889 abc	252.963 ab	90,90
Valor F	7,81 <sup>**</sup>	6,2491 <sup>**</sup>	2,01 <sup>ns</sup>
DMS	38.177	30.937	12,71
CV (%)	5,81	5,37	6,11

\*\* significativo em nível de 1% de significância ( $p < 0,01$ ); <sup>ns</sup> não significativo ( $p > 0,05$ ) pelo teste F. Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey para um nível de 5% de significância. Plantio direto contínuo (PDC); Preparo convencional com arado de aiveca (AA); Preparo convencional com grade pesada implantado na safra verão 2014/2015 (GrP<sub>a</sub>); Preparo convencional com grade pesada implantado na safra outono/inverno de 2015 (GrP<sub>b</sub>); Cultivo mínimo com escarificador (CM); Plantio direto sobre gradagem da safra verão 2014/15 (PD-GrP); Plantio direto sobre aração (PD-AA) e Plantio direto sobre escarificação (PD-ESC). DMS: Diferença mínima significativa. CV: Coeficiente de variação.

A altura de plantas e altura de inserção da primeira vagem (Tabela 13) não apresentaram diferenças entre os tratamentos. Porém quando se utilizou o escarificador para preparo do solo (CM e PD-ESC) as plantas foram aproximadamente 10 cm maiores comparado ao sistema de plantio direto contínuo (PDC). A média de altura de inserção da primeira vagem variou entre 13,8 e 11,6 cm, sendo que essa diferença não foi significativa estatisticamente. Essa igualdade pode ser atribuída ao fato da altura de inserção da vagem ser uma característica genética da variedade, sofrendo assim pouca influencia do ambiente. A altura de inserção da primeira vagem é uma característica de grande importância no momento da escolha da variedade, pois influencia diretamente nas perdas durante a colheita, variedades

que possuem inserção de vagens muito próxima ao solo necessitam que a superfície do solo apresente baixa rugosidade para evitar perdas e impurezas no momento da colheita.

A matéria seca da palha sofreu influencia mostrou-se diferentes ( $p < 0,01$ ) entre os preparos de solo, sendo que CM e PD-ESC obtiveram os maiores valores em relação à PDC e GrP<sub>b</sub>. A diferença entre PD-ESC e PDC foi de 1.388 kg ha<sup>-1</sup>, ou seja, 31% maior para o plantio direto implantado em solo escarificado.

Tabela 13. Valores de altura de plantas, altura de inserção da primeira vagem e matéria seca da palha da cultura da soja safra verão 2015/2016 em diferentes sistemas de preparo de solo.

Tratamentos	Altura (cm)		Matéria Seca da palha (kg ha <sup>-1</sup> )
	Plantas	Inserção da 1 <sup>a</sup> vagem	
PDC	94,50	11,60	4.505 c
PD - GrP	95,95	12,55	4.966 abc
PD - AA	95,00	11,70	4.807 bc
PD - ESC	103,90	12,50	5.893 a
GrP <sub>a</sub>	96,55	12,60	5.247 abc
GrP <sub>b</sub>	101,50	12,20	4.747 c
AA	96,40	12,45	5.031 abc
CM	103,25	13,80	5.839 ab
Valor F	2,49 <sup>ns</sup>	1,68 <sup>ns</sup>	4,96 <sup>**</sup>
DMS	11,57	2,48	1.073
CV (%)	4,96	8,41	8,82

\*\* significativo em nível de 1% de significância ( $p < 0,01$ ); <sup>ns</sup> não significativo ( $p > 0,05$ ) pelo teste F. Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey para um nível de 5% de significância. Plantio direto contínuo (PDC); Preparo convencional com arado de aiveca (AA); Preparo convencional com grade pesada implantado na safra verão 2014/2015 (GrP<sub>a</sub>); Preparo convencional com grade pesada implantado na safra outono/inverno de 2015 (GrP<sub>b</sub>); Cultivo mínimo com escarificador (CM); Plantio direto sobre gradagem da safra verão 2014/15 (PD-GrP); Plantio direto sobre aração (PD-AA) e Plantio direto sobre escarificação (PD-ESC). DMS: Diferença mínima significativa. CV: Coeficiente de variação.

O sistema de plantio direto implantado em solo escarificado (PD-ESC) obteve 21% a mais de vagens por planta em relação ao plantio direto contínuo (PDC) (Tabela 14). Ainda entre esses dois tratamentos a massa de mil grãos foi 8,7% maior para PD-ESC comparado a PDC. Com isso pode-se justificar a diferença significativa de 1.146 kg ha<sup>-1</sup> na produtividade de grãos entre PD-ESC e PDC. Essa diferença pode ter ocorrido devido as melhores condições físicas do solo (maior volume de macroporos, maior porosidade total e menor densidade do solo), observadas principalmente nas camadas 0,00-0,10 e 0,10-0,20 m de profundidade para o sistema de plantio direto implantado em solo escarificado, quando comparado ao sistema de plantio direto contínuo.

Tabela 14. Valores de número de vagens por planta, massa de mil grãos e produtividade de grãos da cultura da soja safra verão 2015/2016 em diferentes sistemas de preparo de solo.

Tratamentos	Número de vagens por planta	Massa de mil grãos (g)	Produtividade de grãos (kg ha <sup>-1</sup> )
PDC	77,00 cd	147,78 bc	4.183 c
PD - GrP	78,30 cd	154,66 ab	4.514 bc
PD - AA	82,30 bc	146,64 c	4.443 bc
PD - ESC	93,40 a	160,66 a	5.329 a
GrP <sub>a</sub>	81,70 bc	148,14 bc	4.798 abc
GrP <sub>b</sub>	69,05 d	156,70 a	4.190 c
AA	77,40 cd	144,65 c	4.486 bc
CM	91,50 ab	160,06 a	5.111 ab
Valor F	13,56**	15,86**	8,26**
DMS	10,26	7,58	686,66
CV (%)	5,32	2,10	6,25

\*\* significativo em nível de 1% de significância ( $p < 0,01$ ) pelo teste F. Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey para um nível de 5% de significância. Plantio direto contínuo (PDC); Preparo convencional com arado de aiveca (AA); Preparo convencional com grade pesada implantado na safra verão 2014/2015 (GrP<sub>a</sub>); Preparo convencional com grade pesada implantado na safra outono/inverno de 2015 (GrP<sub>b</sub>); Cultivo mínimo com escarificador (CM); Plantio direto sobre gradagem da safra verão 2014/15 (PD-GrP); Plantio direto sobre aração (PD-AA) e Plantio direto sobre escarificação (PD-ESC). DMS: Diferença mínima significativa. CV: Coeficiente de variação.

De modo geral, os resultados obtidos durante as safras de soja verão 2014/2015 e 2015/2016 manifestam que a cultura da soja exige para melhor expressar seu potencial produtivo de condições de solo que favoreça a germinação das sementes, emergência das plântulas e estabilização da população de plantas até o final do ciclo. Visto que na safra de 2014/2015 mesmo o número de vagens por planta e peso de mil grãos serem maior para o cultivo mínimo e para o sistema de plantio direto, a população de plantas foi limitante para a produtividade da cultura nesta safra.

A soja em cultivo mínimo (CM) e em plantio direto implantado em solo escarificado (PD-ESC) obteve os maiores valores dos componentes de produtividade (número de vagens por planta e massa de mil grãos), fato que pode estar atribuído a melhor qualidade física do solo que antecedeu a semeadura da soja na safra 2015/2016. Portanto a diferença de 1.146 kg ha<sup>-1</sup> (19 sacas ha<sup>-1</sup>) na produtividade em áreas com uso do escarificador, destaca a importância da mobilização do solo para romper a compactação nas camadas de superfície e subsuperfície do solo em sistemas de plantio direto contínuo, causada principalmente pelo tráfego de máquinas e escassez de cobertura do solo devido a alta taxa de decomposição. Montanari (2011) explica que camadas compactadas de subsuperfície são prejudiciais, pois restringem o desenvolvimento radicular das plantas, com reflexo na queda da produtividade.

### 4.3 Parâmetros fenológicos e de produtividade da cultura do milho

Os parâmetros fenológicos e de produtividades para cultura do milho foram avaliados em duas safras outono/inverno, a primeira no ano de 2015 e a segunda no ano de 2016. Nas duas safras foi avaliada população inicial, população final, índice de sobrevivência, altura de plantas, altura de inserção da primeira espiga, matéria seca da palha, número de fileiras por espiga, número de grãos por fileira, massa de mil grãos e produtividade de grãos em função dos tratamentos de preparo de solo.

#### 4.3.1 Milho safra outono/inverno de 2015

Os valores de população inicial, população final e índice de sobrevivência da cultura do milho na safra outono/inverno do ano de 2015 (Tabela 15) não sofreram influência significativa entre os tratamentos. Mostrando que os tratamentos utilizados neste experimento proporcionaram condições ideais para a germinação de sementes e emergência de plântulas, assim como proporcionou alta taxa de sobrevivência para as plantas de milho.

Tabela 15. Valores médios obtidos para população inicial, final e sobrevivência da cultura do milho na safra Outono/Inverno de 2015 em diferentes sistemas de preparo de solo.

Tratamentos	População (Plantas ha <sup>-1</sup> )		Sobrevivência (%)
	Inicial	Final	
PDC	66.481	63.704	95,89
PD - GrP	69.259	61.852	89,34
PD - AA	66.296	64.815	97,82
PD - ESC	68.148	63.704	93,57
GrP <sub>a</sub>	68.518	61.852	90,27
GrP <sub>b</sub>	65.185	61.852	94,88
AA	67.037	62.593	93,61
CM	68.148	66.667	97,85
Valor F	1,75 <sup>ns</sup>	2,12 <sup>ns</sup>	1,64 <sup>ns</sup>
DMS	4.867,67	5.591,19	11,65
CV (%)	3,05	3,72	5,22

<sup>ns</sup> não significativo em nível de 5% de significância ( $p > 0,05$ ) pelo teste F. Plantio direto contínuo (PDC); Preparo convencional com arado de aiveca (AA); Preparo convencional com grade pesada implantado na safra verão 2014/2015 (GrP<sub>a</sub>); Preparo convencional com grade pesada implantado na safra outono/inverno de 2015 (GrP<sub>b</sub>); Cultivo mínimo com escarificador (CM); Plantio direto sobre gradagem da safra verão 2014/15 (PD-GrP); Plantio direto sobre aração (PD-AA) e Plantio direto sobre escarificação (PD-ESC). DMS: Diferença mínima significativa. CV: Coeficiente de variação.



Os menores valores de altura de plantas de milho foram encontrados no preparo convencional do solo com grade pesada (GrP<sub>a</sub>) e no plantio direto implantado sobre gradagem pesada (PD-GrP) com diferença significativa quando comparados com o preparo convencional do solo com arado aiveca (AA), cultivo mínimo (CM), plantio implantado sobre arado (PD-AA) e no plantio implantado sobre o solo escarificado (PD-ESC). Devido essa diferença na altura de plantas os valores de matéria seca da palha de milho seguiu a mesma tendência, evidenciando os menores valores nos tratamentos GrP<sub>a</sub> e PD-GrP.

Tabela 16. Valores médios obtidos para altura de plantas, altura de inserção da primeira espiga e matéria seca da palha da cultura do milho na safra Outono/Inverno de 2015 em diferentes sistemas de preparo de solo.

Tratamentos	Altura (m)		Matéria Seca da palha (kg ha <sup>-1</sup> )
	Plantas	Inserção da 1 <sup>a</sup> espiga	
PDC	2,04 ab	0,96 abc	11.911 bc
PD - GrP	1,97 b	0,96 abc	11.464 c
PD - AA	2,11 a	0,96 abc	12.687 a
PD - ESC	2,09 a	0,97 a	12.278 ab
GrP <sub>a</sub>	1,97 b	0,95 bc	11.505 c
GrP <sub>b</sub>	2,05 ab	0,95 c	11.826 bc
AA	2,10 a	0,97 ab	12.770 a
CM	2,08 a	0,97 a	12.739 a
Valor F	9,95**	5,77**	21,49**
DMS	0,08	0,02	558,53
CV (%)	1,69	0,73	1,94

\*\* significativo em nível de 1% de significância ( $p < 0,01$ ) pelo teste F. Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey para um nível de 5% de significância. Plantio direto contínuo (PDC); Preparo convencional com arado de aiveca (AA); Preparo convencional com grade pesada implantado na safra verão 2014/2015 (GrP<sub>a</sub>); Preparo convencional com grade pesada implantado na safra outono/inverno de 2015 (GrP<sub>b</sub>); Cultivo mínimo com escarificador (CM); Plantio direto sobre gradagem da safra verão 2014/15 (PD-GrP); Plantio direto sobre aração (PD-AA) e Plantio direto sobre escarificação (PD-ESC). DMS: Diferença mínima significativa. CV: Coeficiente de variação.

Para os parâmetros de produtividade da cultura do milho na safra outono/inverno de 2015 (Tabela 17), averigua-se diferenças significativas entre os tratamentos para o número de fileiras por espiga, número de grãos por fileiras, massa de mil grãos e produtividade de grãos. A influência mútua entre os valores de número de fileiras por espiga, número de grãos por fileira e massa de mil grãos contribuem com os valores de produtividade de grão para a cultura do milho.

Tabela 17. Valores médios obtidos para número de fileiras por espiga, número de grãos por fileira, massa de mil grãos e produtividade da cultura do milho na safra Outono/Inverno de 2015 em diferentes sistemas de preparo de solo.

Tratamentos	Número de fileiras/espiga	Número de grão/fileira	Massa de mil grãos (g)	Produtividade de grãos (kg.ha <sup>-1</sup> )
PDC	16,90 b	31,10 b	358,00 ab	9.011 b
PD – GrP	17,00 b	30,00 bc	344,51 ab	8.827 b
PD – AA	16,90 b	29,90 bc	326,25 ab	8.800 b
PD – ESC	18,60 a	34,75 a	370,76 a	11.147 a
GrP <sub>a</sub>	16,40 b	25,05 d	317,50 b	7.453 b
GrP <sub>b</sub>	16,90 b	26,40 d	322,24 ab	8.178 b
AA	16,90 b	27,85 cd	320,01 ab	8.265 b
CM	19,20 a	37,65 a	371,23 a	12.116 a
Valor F	29,65*	45,79*	4,29*	13,04*
DMS	0,86	2,94	52,38	2.082,34
CV (%)	2,09	4,09	6,47	9,52

\* significativo em nível de 5% de significância ( $p < 0,01$ ) pelo teste F. Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey para um nível de 5% de significância. Plantio direto contínuo (PDC); Preparo convencional com arado de aiveca (AA); Preparo convencional com grade pesada implantado na safra verão 2014/2015 (GrP<sub>a</sub>); Preparo convencional com grade pesada implantado na safra outono/inverno de 2015 (GrP<sub>b</sub>); Cultivo mínimo com escarificador (CM); Plantio direto sobre gradagem da safra verão 2014/15 (PD-GrP); Plantio direto sobre aração (PD-AA) e Plantio direto sobre escarificação (PD-ESC). DMS: Diferença mínima significativa. CV: Coeficiente de variação.

O milho implantado sobre o cultivo mínimo (CM) obteve os maiores valores para todos os componentes de produtividade avaliados, porém, não se diferenciando estatisticamente do plantio direto implantado em solo escarificado (PD-ESC). Os menores valores foram verificados nos preparos convencionais com gradagem pesada.

Nos preparos de solo com grade pesada (GrP<sub>a</sub> e GrP<sub>b</sub>) a produtividade da cultura do milho foi inferior aos demais tratamentos na safra outono/inverno de 2015. Comparando GrP<sub>a</sub> com o cultivo mínimo (CM) a diferença encontrada foi de 4.668 kg ha<sup>-1</sup> (77 sacas ha<sup>-1</sup> a mais para CM). Essa diferença pode estar relacionada com a redução no volume de macroporos e aumento da densidade do solo nas camadas de 0,10-0,20 m e 0,20-30 m de profundidade, causado pelo uso constante da grade pesada, devido a essa compactação o sistema radicular da cultura do milho fica limitado na camada superficial, fazendo com que a busca por nutrientes seja insuficiente para a cultura do milho obter altas produtividades.

A produtividade no plantio direto contínuo (PDC) foi inferior significativamente em 3.105 kg ha<sup>-1</sup> (52 sacas ha<sup>-1</sup>) comparado com o cultivo mínimo (CM) e 2.136 kg ha<sup>-1</sup> (36 sacas ha<sup>-1</sup>) comparado com o plantio direto implantado em solo escarificado (PD-ESC).

Entre PDC, PD-AA PD-GrP, AA, GrP<sub>a</sub> e GrP<sub>b</sub>) não houve diferenças significativas na produtividade grãos de milho.

#### 4.3.2 Milho safra outono/inverno de 2016

Para população inicial, população final e índice de sobrevivência da cultura do milho na safra outono/inverno do ano de 2016 (Tabela 18) não ocorreram diferenças significativas entre os tratamentos avaliados. Reforçando a tese que os preparos de solo utilizados neste experimento proporcionam condições ideais para a germinação de sementes e emergência de plântulas assim como proporciona alta taxa de sobrevivência para as plantas de milho. Resultado semelhante ao obtido na safra de milho outono/inverno de 2015.

Tabela 18. Valores obtidos para população inicial, final e sobrevivência da cultura do milho na safra outono/inverno de 2016 em diferentes sistemas de preparo de solo.

Tratamentos	População (Plantas ha <sup>-1</sup> )		Sobrevivência (%)
	Inicial	Final	
SPD	70.000	67.778	96,86
PD – GrA	69.259	67.407	97,38
PD – AA	70.000	68.889	98,44
PD – ESC	70.741	68.518	96,87
GrP <sub>a</sub>	68.889	65.185	94,60
GrP <sub>b</sub>	67.407	64.815	96,26
AA	70.370	69.259	98,39
CM	69.630	67.037	96,31
Valor F	0,92 <sup>ns</sup>	2,94 <sup>ns</sup>	1,17 <sup>ns</sup>
DMS	5.166	4.531	5,46
CV (%)	3,13	2,84	2,38

<sup>ns</sup> não significativo (p>0,05) pelo teste F. Plantio direto contínuo (PDC); Preparo convencional com arado de aiveca (AA); Preparo convencional com grade pesada implantado na safra verão 2014/2015 (GrP<sub>a</sub>); Preparo convencional com grade pesada implantado na safra outono/inverno de 2015 (GrP<sub>b</sub>); Cultivo mínimo com escarificador (CM); Plantio direto sobre gradagem da safra verão 2014/15 (PD-GrP); Plantio direto sobre aração (PD-AA) e Plantio direto sobre escarificação (PD-ESC). DMS: Diferença mínima significativa. CV: Coeficiente de variação.

Altura de plantas, altura de inserção da primeira espiga e matéria seca da palha de milho (Tabela 19) foi maior no cultivo mínimo (CM). A matéria seca da palha do milho no CM foi 10, 13,7, 8,6% maior quando comparada as médias de PDC, GrP<sub>a</sub> e GrP<sub>b</sub> respectivamente.

Tabela 19. Valores obtidos para altura de plantas, altura de inserção da primeira espiga e matéria seca da palha da cultura do milho na safra Outono/Inverno de 2016 em diferentes sistemas de preparo de solo.

Tratamentos	Altura (m)		Matéria Seca da palha (kg ha <sup>-1</sup> )
	Plantas	Inserção da 1 <sup>o</sup> espiga	
PDC	1,94 e	1,11 b	16.247 c
PD - GrA	1,97 d	1,10 b	16.683 bc
PD - AA	2,19 b	1,11 b	17.631 ab
PD - ESC	2,19 b	1,20 a	17.823 ab
GrP <sub>a</sub>	1,83 f	1,06 c	16.026 c
GrP <sub>b</sub>	1,93 e	1,11 b	16.777 bc
AA	2,15 c	1,18 a	17.135 abc
CM	2,31 a	1,20 a	18.229 a
Valor F	1.049,83 <sup>**</sup>	155,90 <sup>**</sup>	9,82 <sup>**</sup>
DMS	0,02	0,02	1.177
CV (%)	0,50	0,75	2,91

\*\* significativo em nível de 1% de significância ( $p < 0,01$ ) pelo teste F. Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey para um nível de 5% de significância. Plantio direto contínuo (PDC); Preparo convencional com arado de aiveca (AA); Preparo convencional com grade pesada implantado na safra verão 2014/2015 (GrP<sub>a</sub>); Preparo convencional com grade pesada implantado na safra outono/inverno de 2015 (GrP<sub>b</sub>); Cultivo mínimo com escarificador (CM); Plantio direto sobre gradagem da safra verão 2014/15 (PD-GrP); Plantio direto sobre aração (PD-AA) e Plantio direto sobre escarificação (PD-ESC). DMS: Diferença mínima significativa. CV: Coeficiente de variação.

A análise de variância utilizando o Teste F em nível de 5% de significância mostra diferenças para os componentes de produtividade de grãos da cultura do milho na safra outono-inverno de 2016 (Tabela 20). A produtividade no cultivo mínimo (CM) superou estatisticamente a do sistema de plantio direto contínuo (PDC) em 22,8% ou seja, 35 sacas ha<sup>-1</sup>. Essa diferença entre os dois sistemas de manejo pode ser atribuída a melhor qualidade física do solo proveniente do cultivo mínimo, ou seja, proporcionou condições de porosidade e densidade do solo adequado para o desenvolvimento da cultura permitindo esta explorar seu máximo potencial produtivo.

Os tratamentos de plantio direto que foi realizado preparo de solo antes da sua implantação como PD-ESC, PD-AA e PD-GrP, tiveram produtividade de 11,8, 9,7 e 1,5% maior respectivamente, comparado ao PDC, porém não se diferenciaram estatisticamente.

Entre o PDC e os preparos convencionais AA, GrP<sub>a</sub> e GrP<sub>b</sub> a produtividade foi estatisticamente igual, porém com o menor valor encontrado em GrP<sub>b</sub>.

Tabela 20. Valores obtidos para número de fileiras por espiga, número de grãos por fileira, massa de mil grãos e produtividade da cultura do milho na safra Outono/Inverno de 2016 em diferentes sistemas de preparo de solo.

Tratamentos	Número de fileiras/espiga	Número de grão/fileira	Massa de mil grãos (g)	Produtividade de grãos (kg ha <sup>-1</sup> )
PDC	17,70 cd	32,30 bc	284,15 c	9.273 bc
PD – GrP	17,00 d	30,15 de	291,45 bc	9.415 bc
PD – AA	17,90 bcd	32,90 abc	291,80 bc	10.172 abc
PD – ESC	19,20 a	33,95 ab	314,75 ab	10.370 ab
GrP <sub>a</sub>	17,30 d	31,30 cd	296,97 abc	9.806 bc
GrP <sub>b</sub>	17,80 bcd	29,35 e	284,22 c	8.910 c
AA	18,30 abc	32,00 c	302,75 abc	9.986 bc
CM	18,70 ab	34,40 a	319,67 a	11.388 a
Valor F	14,47*	24,65*	6,09*	7,74*
DMS	0,90	1,67	25,51	1.310
CV (%)	2,11	2,20	3,61	5,57

\* significativo em nível de 5% de significância ( $p < 0,01$ ) pelo teste F. Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey para um nível de 5% de significância. Plantio direto contínuo (PDC); Preparo convencional com arado de aiveca (AA); Preparo convencional com grade pesada implantado na safra verão 2014/2015 (GrP<sub>a</sub>); Preparo convencional com grade pesada implantado na safra outono/inverno de 2015 (GrP<sub>b</sub>); Cultivo mínimo com escarificador (CM); Plantio direto sobre gradagem da safra verão 2014/15 (PD-GrP); Plantio direto sobre aração (PD-AA) e Plantio direto sobre escarificação (PD-ESC). DMS: Diferença mínima significativa. CV: Coeficiente de variação.

De maneira geral, esses resultados deixam evidente que a cultura do milho quando implantada sobre solo escarificado (CM ou PD-ESC) a produtividade é superior aos demais sistemas de preparo avaliados nesse trabalho, resultado que pode ser atribuído às melhorias na qualidade física do solo proporcionado por esses sistemas. Os resultados discordam de Seki et al. (2015), MahL et al. (2008) e Bertolini et al. (2008) que não verificaram o efeito da escarificação do solo na produtividade do milho comparado ao outros tipos de preparo de solo realizado em Nitossolo Vermelho. E concordam com Secco et al. (2009) que verificaram um aumento de 17% na produtividade de grão de milho, em solo um Latossolo escarificado.

## 5 CONCLUSÕES

As condições físicas do solo encontradas no plantio direto contínuo restringiram a produtividade da cultura do milho, indicando a necessidade de mobilização do solo para redução da compactação. O preparo do solo com uso do escarificador reduziu a compactação formada no sistema de plantio direto, proporcionando os melhores índices de produtividade da cultura do milho e da soja e melhorando a qualidade física do solo. Com base nos resultados recomenda-se a escarificação como sistema de preparo para descompactação do solo e retomada do plantio direto. A utilização consecutiva de grade pesada deve ser evitada por apresentar degradação do solo.

## REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, J. A.; REINERT, D. J.; FIORIN, J. E.; RUEDELL, J.; PETRERE, C.; FONTANELLI, F. Rotação de culturas e sistemas de manejo do solo: efeito sobre a forma da estrutura do solo ao final de sete anos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.19, p.115-119, 1995.
- AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS - ASAE. **Standards: terminology and definitions for soil tillage and soil-tool relationships**. 40.ed. St. Joseph: ASAE, 1982. p.229-241. (ASAE EP291.1)
- ARAÚJO, M. A.; TORMENA, C. A.; SILVA, A. P. Propriedades físicas de um Latossolo Vermelho distrófico cultivado e sob mata nativa. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, MG, v. 28, p. 337-345, 2004.
- BERTOL, I.; ALBUQUERQUE, J. A.; LEITE, D.; AMARAL, A. J.; ZOLDAN JUNIOR, W. A. Propriedades físicas do solo sob preparo convencional e semeadura direta em rotação e sucessão de culturas, comparadas às do campo nativo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 28, p.155-163, 2004.
- BERTOLINI, E. V.; GAMERO, C. A.; SALATA, A. C. ; PIFFER, C. F. Antecipação da adubação de semeadura do milho em dois sistemas de manejo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 32, n. 6, p. 2355-2366, 2008.
- BRASIL. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. **Regras para análise de sementes**. Brasília: SNDA/ DNPV/CLAV, 1992. 365 p.
- BUHLER, D.D. Influence of tillage systems on weed population dynamics and management in corn and soybean in the central USA. **Crop Science**, Madison, v. 35, p.1247-1258, 1995.
- CAMARA, R. K.; KLEIN, V. A. Escarificação em plantio direto como técnica de conservação do solo e da água. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 29, n. 5, p. 789-796, 2005.
- CARNEIRO, M. A. C.; SOUZA, E. D.; REIS, E. F.; PEREIRA, H. S. ; AZEVEDO, W. R. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo de Cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, MG, v 33, p. 147-157, 2009.
- CARVALHO FILHO, A. **Alterações em Latossolo Vermelho e na cultura da soja em função de sistemas de preparo**. 2004. 77 f. Tese (Doutorado) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2004.
- CHIODEROLI, C. A.; MELLO, L. M. M.; GRIGOLLI, P. J.; FURLANI, C. E. A.; SILVA, J. O. R. ; CESARIN, A. L. Atributos físicos do solo e produtividade de soja em sistema de consórcio milho e braquiária. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, p. 37-43, 2012.
- COAN, O. **Sistemas de preparo de solo: efeitos sobre a camada mobilizada e no comportamento das culturas do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris L.*) e do milho(*Zea mays***

**L.), conduzidas em rotação.** 1995. 138 f. Tese (Livre Docência) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 1995.

COLLARES, G. L.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; KAISER, D. R. Compactação de um Latossolo induzida pelo tráfego de máquinas e sua relação com o crescimento e produtividade de feijão e trigo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 32, p. 933-942, 2008.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos.** Brasília, DF: Conab, 2016. 156 p.

DALLMEYER, A.U. **Eficiência energética e operacional de equipamentos conjugados de preparo de solo.** 1994. 157 f. Tese (Doutorado em Agronomia/ Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 1994.

DEPERON JÚNIOR, M. A. D.; NAGAHAMA, H., OLSZEWSKI, N.; CORTEZ, J. W.; SOUZA, E. B. Implementos de preparo e níveis de compactação sobre atributos físicos de argissolo amarelo e aspectos agronômicos da cultura do milho. **Engenharia Agrícola**, v. 36, n. 2, 2016. Disponível em: <<http://submission.scielo.br/index.php/eagri/article/view/151129>>. Acesso: 05 dez. 2016.

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

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos.** 2. ed. Rio de Janeiro, 2006. 306 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo.** 2. ed. Rio de Janeiro, 1997. 212 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Embrapa Agropecuária Oeste. **Seminário Nacional de Milho Safrinha: Rumo à estabilidade.** 9. ed. Dourados, 2007. 483 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Reunião de Pesquisa de soja da região Central do Brasil. Tecnologia de Produção de Soja Região Central do Brasil 2001.** Londrina, 2001. 267 p.

GADANHA JÚNIOR, C. D.; MOLIN, J. P.; COELHO, J. L. D.; YAHN, C. H.; TOMIMORI, S. M. A. W. **Máquinas e implementos agrícolas do Brasil.** São Paulo: SITI, 1991. 468 p.

KLUTHCOUSKI, J. **Efeito de manejo em alguns atributos de um Latossolo Roxo sob cerrado e nas características produtivas de milho, soja, arroz e feijão, após oito anos de plantio direto.** 1998. 179 f. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1998.

LANÇAS, K. P. Subsolagem ou escarificação. **Cultivar Máquinas**, Pelotas, n. 14, p.34-37, 2002.



LANZANOVA, M. E.; NICOLOSO, R. S.; LOVATO, T.; ELTZ, F. L. F.; AMADO, T. J. C.; REINERT, D. J. Atributos físicos do solo em sistema de integração lavoura-pecuária sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, MG, v. 31, p. 1131- 1140, 2007.

MAHL, D.; SILVA, R. B.; GAMERO, C. A.; SILVA, P. R. A. Resistência do solo à penetração, cobertura vegetal e produtividade do milho em plantio direto escarificado. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 30, n. 5, p. 741-747, 2008.

MARTINEZ, I.; OVALLE, C.; DEL POZO, A.; URIBE, H.; VALDERRAMA, N.; PRAT, C.; SANDOVAL, M.; FERNÁNDEZ, F.; ZAGAL, E. Influence of conservation tillage and soil water content on crop yield in dryland compacted Alfisol of Central Chile. **Chilean Journal of Agriculture Research**, Chillan, v. 71, n. 4, p. 615-622, 2011.

MELLO, L. M. M. **Efeitos de diferentes sistemas de preparo do solo na cultura da soja (*Glycine max (L.) Merril*) e sobre algumas propriedades de um Latossolo Vermelho escuro de cerrado**. 1988. 132 f. Tese (Doutorado em Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 1988.

MELLO, L. M. M. **Integração agricultura- pecuária em plantio direto: atributos físicos e cobertura residual do solo, produção de forragem e desempenho econômico**. 2001. 72 f. (Tese de Livre Docência) - Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2001.

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.

MELLO, L. M. M.; MENDONCA, V. Z.; PEREIRA, F. C. B. L.; LIMA, R. C.; HOLANDA, H. V.; YANO, E. H. Cobertura do solo na consorciação de milho com forrageira e soja em sucessão em plantio direto. **Cultura Agrônômica**, Ilha Solteira, v. 22, n. 2, p. 115-123, 2013.

MENDONCA, V. Z.; MELLO, L. M. M.; ANDEOTTI, M.; PEREIRA, F. C. B. L.; LIMA, R. C.; VALÉRIO FILHO, W. V.; YANO, E. H. Avaliação dos atributos físicos do solo em consórcio de forrageiras e milho em sucessão com soja em região de cerrados. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, MG, v. 37, n. 1, p. 251-259, 2013.

MONTANARI, R. **Produtividade da soja em função de algumas propriedades do solo sob plantio direto em um ferralsol do cerrado brasileiro**. 2011. 175 f. Tese (Doutorado) - Instituto Universitario de Xeoloxía “Isidro Parga Pondal”, Universidade da Coruña. A Coruña, 2011.

NICOLOSO, R. S.; AMADO, T. J. C.; SCHNEIDER, S.; LANZANOVA, M. E.; GIRARDELLO, V. C.; BRAGAGNOLO, J. Eficiência da escarificação mecânica e biológica na melhoria dos atributos físicos de um Latossolo muito argiloso e no incremento do rendimento de soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 32, n. 4 p. 1723-1734, 2008.

OLIVEIRA, G. C.; DIAS JUNIOR, M. S.; RESCK, D. V. S. ; CURI, N. Alterações estruturais e comportamento compressivo de um Latossolo Vermelho distrófico argiloso sob

diferentes sistemas de uso e manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 38, n. 2, p. 291-299, 2003.

OLIVEIRA, P.R. **Indicadores de qualidade física em Latossolos cultivados com milho e soja sob semeadura direta e cultivo convencional**. 2014. 116 f. Tese (Doutorado) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2014.

RALISCH, R. et al. Avaliação em um solo argiloso sob plantio direto de uma escarificação na evolução da resistência do solo à penetração. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 30, 2001, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2001. 1 CD-ROM.

REICHERT, J. M.; KAISER, D. R.; REINERT, D. J.; RIQUELME, U. F. B. Variação temporal de propriedades físicas do solo e crescimento radicular de feijoeiro em quatro sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 44, p. 310-319, 2009.

ROSA, D. P.; REICHERT, J. M.; SATTTLER, A.; REINERT, D. J.; MENTGES, M. I.; VIEIRA, D. A. Relação entre solo e haste sulcadora de semeadora em Latossolo escarificado em diferentes épocas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 43, p. 395-400, 2008.

SANTOS, G. G.; SILVEIRA, P. M.; MARCHÃO, R. L.; BECQUER, T.; BALBINO, L. C. Macrofauna edáfica associada a plantas de cobertura em plantio direto em um latossolo vermelho do cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 43, n. 1, p. 115-122, 2008.

SARMENTO, P.; RODRIGUES, L. R. A.; CRUZ, M. C. P.; LUCÃO, S. M. B.; CAMPOS, F. P.; CENTURION, J. F.; FERREIRA, M. E. Atributos químicos e físicos de um Argissolo cultivado com *Panicum maximum* Jacq. cv. IPR-86 Milênio, sob lotação rotacionada e adubado com nitrogênio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.32, p.183-193, 2008.

SECCO, D.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; SILVA, V. R. da. Atributos físicos e rendimento de grãos de trigo, soja e milho em dois Latossolos compactados e escarificados. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, p. 58-64, 2009.

SEKI, A. S.; SEKI, F. G.; JASPER, S. P., SILVA, P. R. A.; BENEZ, S. H. Efeitos de práticas de descompactação do solo em área sob sistema plantio direto. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 46, n. 3, p. 460-468, 2015.

SILVA, A. P.; IMHOFF, S.; KAY, K. Plant response to mechanical resistance and airfilled porosity of soils under conventional and no-tillage system. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 61, n. 4, p. 451-456, 2004.

SILVA, L.G. **Ordens de gradagem e sistemas de aração do solo: desempenho operacional, alterações na camada mobilizada e respostas do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.)**. 1992. 180 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 1992.

SILVEIRA, G. M. **O preparo do solo: implementos corretos**. 2.ed. São Paulo : Globo, 1989. 243 p.

SILVEIRA, P. M.; STONE, L. F.; ALVES JÚNIOR, J.; SILVA, J. G. Efeitos do manejo do solo sob plantio direto e de culturas na densidade e porosidade de um latossolo. **Bioscience Journal**, Darmstadt, v. 24, n. 3, p. 53-59, 2008.

SORDI, F. **Efeito da profundidade de semeadura e compactação do solo sobre a semente na cultura do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris*)**. 2000. 50 f. Monografia (Trabalho de Graduação em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2000.

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**, Viçosa, MG, v. 25, p. 395-401, 2001.

YANO, E. H. **Sistemas integrados de produção: manejo do solo, culturas de inverno e verão**. 2002. 103 f. Dissertação (Mestrado em Sistemas de Produção) - Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2002.

YANO, E. H. **Sucessão de culturas em sistemas integrados de produção**. 2005. 129 f. Tese (Doutorado) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2005.