

UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS

**ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO E PRODUTIVIDADE DA
SOJA EM FUNÇÃO DE DIFERENTES ROTAÇÕES DE
CULTURAS**

CARLOS REINIER GARCIA CARDOSO

**DOURADOS
MATO GROSSO DO SUL
2020**

ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO E PRODUTIVIDADE DA SOJA EM FUNÇÃO DE DIFERENTES ROTAÇÕES DE CULTURAS

por

CARLOS REINIER GARCIA CARDOSO

Engenheiro Agrônomo, Mestre em Produção Animal

Orientador: Prof. Dr. CRISTIANO MARCIO ALVES DE SOUZA

Coorientador: Prof. Dr. LUIZ CARLOS FERREIRA DE SOUZA

Tese apresentada à Universidade Federal da Grande Dourados, como parte das exigências do programa de Pós-Graduação em Agronomia - Produção Vegetal, para obtenção do título de Doutor.

DOURADOS
MATO GROSSO DO SUL
2020

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP).

C268a Cardoso, Carlos Reinier Garcia

Atributos físicos do solo e produtividade da soja em função de diferentes rotações de culturas [recurso eletrônico] / Carlos Reinier Garcia Cardoso. -- 2020.

Arquivo em formato pdf.

Orientador: Cristiano Márcio Alves de Souza.

Coorientador: Luiz Carlos Ferreira de Souza.

Tese (Doutorado em Agronomia)-Universidade Federal da Grande Dourados, 2020.

Disponível no Repositório Institucional da UFGD em:

<https://portal.ufgd.edu.br/setor/biblioteca/repositorio>

1. Glycine max. 2. Sistema plantio direto. 3. Resistência do solo à penetração. 4. Sucessão de culturas. I. Souza, Cristiano Márcio Alves De. II. Souza, Luiz Carlos Ferreira De. III. Título.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

©Direitos reservados. Permitido a reprodução parcial desde que citada a fonte.

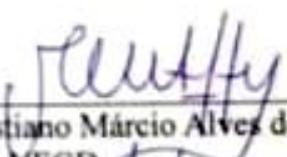
“Atributos físicos do solo e produtividade da soja em função de diferentes rotações de culturas”

por

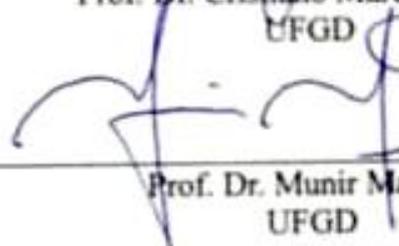
CARLOS REINIER GARCIA CARDOSO

Tese apresentada como parte dos requisitos exigidos para obtenção do título de
DOUTOR EM AGRONOMIA

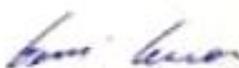
Aprovada em: 07/02/2020.



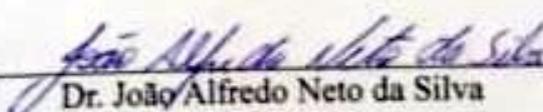
Prof. Dr. Cristiano Márcio Alves de Souza
UFGD



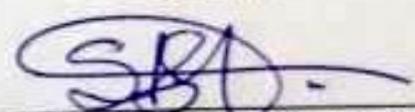
Prof. Dr. Munir Mauad
UFGD



Prof. Dr. Gessi Ceccon
UFGD



Dr. João Alfredo Neto da Silva
AGRAER



Prof. Dr. Sálvio Napoleão Soares Arcoverde
UFGD

*Aos meus pais Carlos e Eida
A minha esposa Rosana
As minhas filhas Tania, Tatiana e Taina*
DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Deus, por me escolher como seu filho e me dar alento de vida nova, e pela sabedoria para enfrentar esta longa jornada da vida.

À Universidade Federal da Grande Dourados, ao Programa de Pós-graduação em Agronomia, e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal do Nível Superior (CAPES), pelo ensino gratuito e de qualidade e pelo apoio financeiro através da bolsa de estudos.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Cristiano Márcio Alves de Souza, por ter aceitado me orientar, pelo seu exemplo profissional, pelos conhecimentos compartilhados e por todo o apoio para a realização deste trabalho.

Ao meu coorientador, Prof. Dr. Luiz Carlos Ferreira de Souza, pelo seu exemplo profissional, pela parceria, pela amizade, confiança e conhecimentos compartilhados.

Aos professores do Programa de Pós-graduação em Agronomia pelo ensinamento e experiências compartilhados que fizeram um profissional mais capacitado.

Aos funcionários da Fazenda Experimental da UFGD, que auxiliaram no trabalho de campo.

Aos colegas de doutorado, voluntários, estudantes de mestrado que auxiliaram nos trabalhos de campo e laboratório, em especial a Wander Cardoso e Euriann Yamamoto.

A todos aqueles que de alguma forma contribuíram no meu desempenho e sentir no período de desenvolvimento deste trabalho.

Aos membros da banca que com as suas contribuições melhoram a qualidade do trabalho.

E em especial a minha família no Brasil: Meu irmão Bruno A. Pontim e sua família, Ramiro e Dona Cleide, a Dra. Sayonara, Clenia e Aberione, ao Djalma e a Sra. Elena e sua família, aos professores: Luiz Carlos Ferreira de Souza, Alexandra Pinheiro, Walber L. Gavassoni e Fabricio Fagundes, e tantos outros que de alguma forma contribuíram nas nossas necessidades econômicas, espiritual e emocional.

A todos, OBRIGADO!

SUMÁRIO

LISTA DE QUADROS	vii
LISTA DE FIGURAS	viii
RESUMO	ix
ABSTRACT	x
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	4
2.1. Sistema plantio direto	4
2.2. Indicadores físicos da qualidade do solo	5
2.2.1. Densidade do solo.....	6
2.2.2. Porosidade do solo.....	7
2.2.3. Resistência mecânica do solo à penetração	9
2.3. Manejo por plantas de coberturas e correlação com a física do solo.....	9
2.4. Produção de soja	11
3. MATERIAL E MÉTODOS	14
3.1. Localização e caracterização da área experimental	14
3.2. Delineamento experimental e tratamentos.....	17
3.3. Implantação dos tratamentos	17
3.4. Coleta e processamento de amostras do solo.....	19
3.4.1. Matéria orgânica do solo - MOS	19
3.4.2. Atributos físicos do solo.....	19
3.5. Características e componentes de produção da soja	20
3.6. Análise estatística	21
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	22
4.1. Massa seca das plantas de cobertura.....	22
4.2. Matéria orgânica do solo.....	25
4.3. Atributos físicos do solo	29
4.4. Análise multivariada de atributos do solo e planta de cobertura	32
4.5. Componentes de produção da soja.....	35
5. CONCLUSÕES.....	40
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	41
APÊNDICE A	53
APÊNDICE B.....	55
ANEXO A	68

LISTA DE QUADROS

- QUADRO 1. Análise textural (g kg^{-1}) do Latossolo Vermelho distroférrico e densidade de partícula (mg m^{-3}) da área experimental..... 14
- QUADRO 2. Caracterização química do solo de cada parcela experimental onde foram cultivadas as coberturas vegetal, na profundidade de 0,00 a 0,10 m 14
- QUADRO 3. Arranjo dos tratamentos de coberturas do solo de outono/inverno para as duas safras agrícolas de 2015/16 e 2016/17 17
- QUADRO 4. Resumo da análise de variância e médias da massa seca, das culturas de cobertura do solo, nas safras de 2015/06 e 2016/17. Dourados-MS 22
- QUADRO 5. Resumo da análise de variância e médias do conteúdo de matéria orgânica do solo (%) do solo em função das culturas de cobertura em sucessão e em duas camadas de solo (0,00 a 0,10 m e 0,10 a 0,20 m). Dourados-MS. Após a safra agrícola 2016/17 26
- QUADRO 6. Resumo da análise de variância e médias da macroporosidade (MA, %), microporosidade (MI, %), porosidade total (PT, %) e densidade do solo (Ds , mg m^{-3}) e a resistência mecânica do solo à penetração (RMSP) obtidas na linha de plantio da soja em função das culturas de cobertura do solo em sucessão, na camada de 0,00 a 0,10 m. Dourados-MS. Após a safra agrícola 2016/17 30
- QUADRO 7. Resumo da análise de variância e médias da macroporosidade (MA), microporosidade (MI), porosidade total (PT) e densidade do solo (Ds) e a resistência mecânica do solo à penetração (RMSP) em função das culturas de cobertura do solo em sucessão, na profundidade de 0,10 a 0,20 m. Dourados-MS. Após a safra agrícola 2016/17 30
- QUADRO 8. Resumo da análise de variância e médias da altura de planta (AP), altura de inserção da primeira vagem (AIPV, cm), número de nós (NN), número de vargens por planta (NV) e produtividade de grãos (PROD) da soja em função das culturas de cobertura do solo em sucessão. Dourados-MS. Safra agrícola 2015/16..... 36
- QUADRO 9. Resumo da análise de variância e médias da altura de planta (AP, cm), altura de inserção da primeira vagem (AIPV, cm), número de nós (NN), número de vargens por planta (NV) e produtividade de grãos (PROD) da soja em função das culturas de cobertura do solo em sucessão. Dourados-MS. Safra agrícola 2016/17..... 38

LISTA DE FIGURAS

- FIGURA 1. Precipitação pluviométrica (PP) e temperaturas máximas (TM) e temperaturas mínimas (Tm) por decêndio no período de fevereiro a setembro de 2015 (A) e de outubro a fevereiro da safra agrícola 2015/16 (B). 15
- FIGURA 2. Precipitação pluviométrica (PP) e temperaturas máximas (TM) e temperaturas mínimas (Tm) por decêndio no período de fevereiro a setembro de 2016 (A) e de outubro a fevereiro da safra agrícola 2016/17 (B). 16
- FIGURA 3. Porcentagem da variação explicada pelos Componentes Principais para a profundidade de 0,00 a 0,10 m. 33
- FIGURA 4. Biplot dos atributos do solo na camada de 0,00 a 0,10 m e as coberturas verdes. 33
- FIGURA 5. Porcentagem da variação explicada pelos Componentes Principais para a camada de 0,10 a 0,20 m. 34
- FIGURA 6. Biplot dos atributos do solo na camada de 0,10 a 0,20 m e as coberturas verdes. 35

RESUMO

CARDOSO, Carlos Reinier Garcia. **Atributos físicos do solo sob diferentes rotações de culturas na produtividade da soja**. Fevereiro de 2019. 68f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, MS.

Pela importância da produção da soja para o agronegócio do mundo e do Brasil, têm-se procurado metodologias de manejo visando o aumento de sua produtividade, além da conservação da qualidade do solo para exploração agrícola. O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito de diferentes coberturas de solo no desempenho da soja, bem como em alguns atributos físicos do solo. Foi utilizado o delineamento experimental em blocos casualizados com 13 tratamentos e quatro repetições. Os tratamentos constituíram sistemas de produção, envolvendo espécies de oleaginosas e gramíneas como culturas antecessoras à soja. As rotações com culturas oleaginosas (canola, cártamo, crambe, níger), de grãos (trigo, aveia, milho+ervilhaca, milho+braquiária), adubos verdes (crotalária, ervilhaca e nabo forrageiro) e braquiária solteira ocorreram no outono-inverno de cada safra agrícola e no verão aconteceu a rotação com soja. Foram avaliados a massa seca das plantas de cobertura, a matéria orgânica do solo, atributos físicos do solo e componentes de produção da soja. As coberturas de braquiária, cártamo e níger proporcionaram maior matéria orgânica do solo na profundidade de 0,10 a 0,20 m, quando produzidas na safra agrícola 2016/17. A macroporosidade, microporosidade, porosidade total e densidade do solo, nas duas profundidades estudadas, não foram alteradas pelo cultivo das diferentes coberturas, enquanto o cultivo da crotalária, da braquiária e da canola proporcionou os menores valores de resistência do solo a penetração do solo, na profundidade de 0,00 a 0,10 m. A análise de componentes principais dos atributos físicos e da matéria orgânica do solo demonstra ser uma estratégia eficiente para explicar a variabilidade dos efeitos de culturas de coberturas, em rotação com a soja. A altura de planta, altura de inserção de primeira vagem e a produtividade da soja são influenciadas pelo manejo de culturas de cobertura em rotação, enquanto o número de vagens e de nós por planta permanecem inalterados.

Palavras-chave: *Glycine max*, plantio direto, sucessão de culturas, resistência do solo à penetração.

ABSTRACT

CARDOSO, Carlos Reinier Garcia. **Soil physical attributes under different crop rotations in soybean yield**. February 2019. 68p. Thesis (Doctor in Agronomy) – Federal University of Grande Dourados, Dourados, MS, Brazil.

Soybean production is crucial for agribusiness in the world and Brazil. Thus, crop management strategies have been sought to increase their yield and provide the conservation of soil quality for agricultural production. This work's objective was to evaluate the effect of different soil coverings on soybean performance and soil physical attributes. A randomized block design with 13 treatments and four replications was used. The treatments constituted production systems, involving species of oilseeds and grasses as crops predecessor to soybeans. Rotations with oilseed crops (canola, safflower, crambe, niger), grains (wheat, oats, corn+vetch, corn+brachiaria), green manures (crotalaria, vetch, and turnip), and single brachiaria occurred in the autumn-winter of each agricultural harvest, and in the summer the crop rotation was done with soybean. Cover plant dry mass, soil organic matter, physical soil attributes, and soybean production components were evaluated. The brachiaria, safflower, and niger coverings provided greater organic matter in the soil at a depth of 0.10 to 0.20 m when produced in the 2016/17 agricultural harvest. The macroporosity, microporosity, total porosity, and soil density in the two depths studied were not altered by the cultivation of the different coverings, while the cultivation of crotalaria, brachiaria, and canola provided the lowest values of soil resistance to penetration at a depth of 0.00 to 0.10 m. The analysis of the main components of the soil's physical attributes and organic matter demonstrates an efficient strategy to explain the variability of the effects of cover crops in rotation with the soybean. Plant height, the height of first pod insertion, and soybean yield are influenced by the management of rotating cover crops, while the number of pods and knots per plant remains unchanged.

Keywords: *Glycine max*, no-tillage, crop succession, soil resistance to penetration.

1. INTRODUÇÃO

A cultura da soja é a mais relevante do agronegócio mundial, somente no ano 2018, movimentou cerca de 31,7 bilhões de dólares (AGROSTAT, 2019). Estados Unidos e Brasil são os maiores produtores do grão, e responsáveis por 231 milhões de toneladas, que corresponde a 66% da produção mundial, seguidos por Argentina, Chile e Índia (USDA, 2018).

No Brasil, a safra de soja em 2017/2018, produziu 118 milhões de toneladas em uma área cultivada de 35 milhões de hectares, com uma produtividade média de 3.359 kg ha⁻¹ (CONAB, 2018). Nem sempre a produtividade da soja esteve nesse patamar, porém com o desenvolvimento e a adoção de tecnologias em toda a corrente produtiva têm-se conseguido alcançar esses níveis de produção. Dentro do sistema tecnológico, o melhoramento genético e o desenvolvimento estratégico de tecnologias de manejo garantem os incrementos produtivos atuais.

A crescente demanda mundial por alimentos e fibras impõe uma constante pressão sobre as áreas agrícolas e recursos naturais, direcionando a agricultura moderna para sistemas de produção que garantam a elevação da produtividade das culturas e reduzam os impactos negativos sobre esses recursos. Em regiões tropicais, onde as condições de solos e clima permitem uma agricultura mais intensiva, é essencial o estabelecimento de manejos conservacionistas para garantir a sustentabilidade da agricultura. Nesse sentido, algumas práticas agrícolas, envolvendo o manejo do solo, a adubação verde, a adubação orgânica, a rotação e a sucessão de culturas, entre outras, passam a ter maior importância (CRUZ et al., 2019).

As culturas de outono/inverno são opções rentáveis para o produtor. Elas apresentam vantagens monetárias e de melhora no sistema de produção em comparação ao pousio. Com a entrada das culturas de outono/inverno nos agroecossistemas na entressafra, o produtor além de aumentar a rentabilidade do sistema de produção ao longo dos anos, garante uma estabilidade produtiva pelo serviço ambiental oferecido pelo conjunto de métodos e tecnologias utilizadas com o mesmo objetivo.

Desse modo, as culturas de outono/inverno ajudam na efetividade do sistema plantio direto e garantem o aporte de matéria orgânica e a proteção dos seus componentes e do solo como um todo. E com base na rotação e sucessão de culturas, aumentam as chances de sucesso do sistema de produção. Além disso, terá mais opções frente às variações dos preços no mercado (NOGUEIRA, 2019).

Uma das etapas de maior relevância no processo de cultivo da cultura da soja (*Glycine max*) é o manejo do solo e dentro dele as metodologias ou sistemas aplicados. O Sistema Plantio Direto (SPD) pela sua relevância, em 2017, ocupou no Brasil 32,8 milhões de hectares, apresentando-se as maiores áreas em Mato Grosso, Rio Grande do Sul, São Paulo, Goiás e Mato Grosso do Sul. Todos eles, grandes produtores de soja e implementadores desse sistema conservacionista (LLANILLO et al., 2018).

O SPD, quando comparado com outras formas de manejo dos solos, além do ganho “econômico direto” potencializa a estabilidade do equilíbrio dinâmico do agroecossistema de produção da soja, razão pela qual mostrou-se o crescimento do seu uso, dentro e fora do Brasil.

Como vantagens deste sistema conservacionista tem-se a sua capacidade de produzir sem preparo prévio do solo de modo contínuo, o que requer menos máquinas e equipamentos, menos força de trabalho e menos consumo de energia, viabilizando a expressão do potencial genético das espécies cultivadas. Também favorece a atividade biológica do solo e o controle biológico de pragas, doenças e plantas daninhas. Além disso, o SPD praticamente elimina a erosão, melhora o uso de fertilizantes, aumenta a floculação e a agregação do solo e reduz a decomposição da matéria orgânica, estabelecendo sincronismo entre a disponibilidade de nutrientes e o crescimento das formas de vida presentes no solo. Muitas são as vantagens resultantes da sua implementação, com destaque fundamental nas melhoras na conservação do solo (BERTONI e LOMBARDI NETO, 1990).

Os Latossolos são os solos mais representativos do Brasil, ocupando aproximadamente 39% da área total do país e distribuídos praticamente por todo o território nacional (EMBRAPA, 2018). Segundo Câmara e Klein (2005) e Silva et al. (2009), em solos de textura argilosa o SPD quando manejado em monocultivo de soja e de baixa adição de resíduos vegetais na entressafra, geralmente pode apresentar compactação. Daí está a importância em se identificar e selecionar as culturas antecessoras visando melhoria na estrutura do solo e diminuição dos níveis de energia que poderiam aportar no sistema.

Dentro dos atributos físicos do solo mais utilizados no diagnóstico da compactação do solo são estudados a densidade, a resistência à penetração, a porosidade, entre outros (PACHECO e CANTALICE, 2011). A condição físico-hídrica do solo tem uma incidência direta sobre vários processos que dificulta a infiltração da água no solo, o crescimento de raízes e a aeração. Segundo Pott e De Maria (2003), a

qualidade estrutural do solo condiciona uma distribuição do tamanho de poros favorável ao crescimento de raízes, à aeração e à infiltração de água no solo.

O aumento da densidade do solo e a redução da porosidade, principalmente da macroporosidade, afeta diversos atributos do solo, como a condutividade hidráulica, a permeabilidade e a infiltração de água (REICHERT et al., 2003). Com isso destas propriedades do solo, e por consequência, ocorre a redução no crescimento e desenvolvimento radicular da cultura (STRECK et al., 2004).

Utilizando como fundamento, que a relação entre o manejo e a qualidade do solo pode ser avaliada pelo seu efeito nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo (DORAN e PARKIN, 1994), outras práticas conservacionistas de manejo do solo têm recebido grande ênfase, basicamente no que se refere aos efeitos das propriedades dos solos cultivados e suas implicações na produtividade das culturas, onde a cobertura do solo por plantas e, ou, seus resíduos determinam também maior conteúdo de água no solo, pelo aumento da capacidade de retenção e redução da evaporação (BRAGAGNOLO e MIELNICZUK, 1990; CAMPOS et al., 1994). Como consequência, a maior umidade e a menor temperatura em solos cobertos por resíduos de culturas (SALTON e MIELNICZUK, 1995) beneficiam a germinação das sementes, o desenvolvimento inicial das plantas e um ótimo estabelecimento para a próxima cultura, neste caso a soja.

A rotação e sucessão de culturas viabiliza e aumenta a eficiência do SPD, principalmente quanto à redução de doenças, reciclagem de nutrientes, redução da incidência de plantas daninhas e aumento da produtividade. Em sistemas com consorciação de culturas, tem-se recomendado o emprego de gramíneas pela alta produção de fitomassa, que promove cobertura do solo por um longo período (BORGHI et al., 2006), também contribui na descompactação do solo, criação de macroporos e microporos e na estabilidade dos agregados, além de outros benefícios.

Nesses sistemas as plantas oleaginosas de outono/inverno têm-se mostrado com potencial para a entressafra da soja. São uma alternativa importante para a ocupação de um espaço físico improdutivo atendendo que permaneceria ociosa na entressafra, promovendo a diversificação da produção na área e contribuindo com os resíduos que serão utilizados pela soja, na safra seguinte, constituindo-se em uma alternativa financeira viável para o agricultor.

Por esta razão, objetivou-se avaliar o efeito de diferentes coberturas vegetal do solo sobre o desempenho agronômico da soja e os atributos físicos do solo.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Sistema plantio direto

Entende-se que o solo é vital para o funcionamento do ecossistema terrestre, e representa um balanço entre os fatores físicos, químicos e biológicos. No início dos anos 1990, começou-se a ser publicado pela comunidade científica a preocupação com a degradação dos recursos naturais, a sustentabilidade agrícola e a função do solo, iniciando-se assim uma onda de discussão nesse contexto (VEZZANI e MIELNICZUK, 2009).

Pela sua importância, a Organização das Nações Unidas (ONU), realça a relevância do solo e do seu estudo para o cumprimento dos objetivos do milênio, e conseguir até 2030 uma sociedade sustentável (KEESSTRA et al., 2016).

Os solos agrícolas podem perder a sua capacidade produtiva, dado fundamentalmente pela erosão, perda de nutrientes, perda da estrutura do solo, além da perda da matéria orgânica, considerada esta como um dos indicadores de qualidade dos solos, é crucial na sua fertilidade, pela sua influência nas características físicas, químicas e biológicas. Nas últimas décadas vem ganhando relevância, não só pela sua importância para a produtividade dos sistemas agrícolas, mas também, porque um solo saudável contém reserva de energia, garante um eficiente intercâmbio aquoso, além do bom funcionamento do ciclo de nutrientes.

Para minimizar a perda da capacidade produtiva dos solos tem-se aplicado inúmeras atividades que garantem como resultado um maior aporte de matéria orgânica no solo, assim como, a sua manutenção, porque minimizam os processos que aceleram a sua perda.

O sistema plantio direto (SPD) é um sistema conservacionista que visa a não utilização ou a utilização mínima de insumos como mecanização agrícola em todas as fases dos sistemas de produção (LOPES, 2008).

O SPD foi implantado na agricultura brasileira a partir da década de 1970, através de agricultores paranaenses, que procuravam, na época solucionar o problema da degradação dos solos. Foi inicialmente nos Estados Unidos onde foi observada, e as primeiras informações foram transmitidas aos agricultores, que ao princípio, mostraram dificuldades em adaptar os equipamentos agrícolas e empregá-los nas lavouras em regiões com clima tropical e subtropical temperado (ITAIPU et al., 2015).

O SPD é um sistema fundamentado em três princípios que garantem o sucesso do sistema quando são respeitados e aplicados adequadamente a saber: o não revolvimento do solo, a manutenção permanente de cobertura e a rotação de culturas (FAO 2015).

No SPD destaca-se o não revolvimento do solo como estratégia eficaz na proteção da matéria orgânica do solo (MOS), minimizando a ruptura da estrutura do solo através da semeadura direta e com a rotação de culturas que aportam cobertura gerando incrementos significativos no acúmulo da MOS dos sistemas integrados, com melhora nas condições físicas, químicas e biológicas do solo (OLIVEIRA et al., 2018), com a diminuição da oxidação, além de gerar melhoria nas propriedades físicas (agregação, porosidade, aeração, infiltração de água), o aumento da CTC (CIOTTA et al., 2003), a liberação gradativa do nitrogênio, a construção de um reservatório de fósforo lábil no perfil cultural do solo e a correção da acidez por processos organoquímicos sem a necessidade de incorporar-se os corretivos ao solo.

O SPD é uma técnica agrícola ambientalmente correta e reconhecida no mundo como sustentável, capaz de eliminar as ações nocivas da erosão do solo e em troca mitigar os efeitos provocados pelas emissões de gases e poluentes da atmosfera. O SPD sequestra carbono, incrementa a biodiversidade e contribui positivamente para o ciclo hidrológico (CABANÊZ et al., 2012).

Segundo Darolt (1998), para garantir a eficiência do SPD, a mínima contribuição de matéria seca para que se mantenha uma adequada cobertura do solo é de 6.000 kg por hectare.

2.2. Indicadores físicos da qualidade do solo

Na maioria das pesquisas que envolvem áreas de conhecimento como agricultura, meio ambiente e outras relacionadas, na crescente necessidade de adoção de critérios que permitam avaliar as condições do agroecossistema. No sentido de estabelecer referências que pudessem reproduzir, de forma satisfatória, os limites ou índices desejáveis ou aceitáveis de determinados parâmetros, foram criados os chamados índices de sustentabilidade (LAL, 1999). As informações apresentadas visam enfatizar a importância da sustentabilidade, destacando os indicadores físicos e químicos de qualidade do solo, como condição indispensável para a manutenção do sistema agrícola produtivo.

Segundo Lal (2000) e Reynolds et al. (2002), a qualidade física de solos é um importante elemento de sustentabilidade, sendo uma área de estudo em contínua expansão, já que as propriedades físicas e os processos do solo estão envolvidos no suporte ao crescimento radicular, armazenagem e suprimento de água e nutrientes, trocas gasosas e atividade biológica (ARSHAD et al., 1996). Doran e Parkin (1994) destacam que a qualidade do solo, garante condições adequadas para a germinação das sementes, o crescimento e o desenvolvimento das plantas e para a manutenção da diversidade de organismos que habitam no solo. Assim, qualquer modificação no solo, ou naqueles fatores que atuam diretamente ou indiretamente nele, pode alterar definitiva ou temporalmente a sua estrutura, atividade biológica e, conseqüentemente, sua fertilidade, com reflexos na qualidade ambiental e produtividade das culturas (BROOKES, 1995).

A qualidade física do solo afeta diretamente o sem espaço poroso, sendo a estrutura do solo um dos indicadores mais importantes para o desenvolvimento das plantas e a atividade de organismos (AGUIAR, 2008).

Entre os principais indicadores físicos de qualidade de solo, sob o ponto de vista agrícola, estão a textura, estrutura, resistência mecânica do solo à penetração, profundidade de enraizamento, capacidade de água disponível, percolação, entre outros (EMBRAPA, 2006).

2.2.1. Densidade do solo

A densidade do solo (D_s) é a relação entre a massa de solo seco e seu volume, portanto, a D_s é afetada por cultivos que alteram a estrutura, o arranjo e volume dos poros (KLEIN, 2008).

Conforme ocorre o aumento da D_s reduz a macroporosidade, a aeração do solo, a altura das plantas e a matéria seca das raízes (SILVA et al., 2014).

Segundo Bueno e Vilar (1998) e Libardi (2005), os solos arenosos apresentam D_s superior aos argilosos, e solos siltosos apresentam densidade intermediária, esta variação da D_s que ocorre nos diferentes tipos de solo é dada em função da composição mineral e do arranjo das partículas primárias ou secundárias do solo. Brady e Weil (2008) reportaram que os solos argilosos apresentam agregação das partículas de argila, que possuem uma porosidade intra-agregados, aumentando o volume do espaço poroso, principalmente aqueles poros com diâmetro reduzido.

De igual forma, podemos observar que o uso inadequado do solo, revolvendo-o excessivamente e a ausência de práticas conservacionistas, podem provocar o aumento da densidade, e reduzir a porosidade total (SOARES et al., 2016).

Tem-se apresentado também que o aumento no teor de MOS diminui a D_s , quer pelo efeito positivo na estabilidade estrutural do solo, quer pelo fato de o material orgânico apresentar baixa densidade, menor do que os sólidos do solo (ARAGÓN et al., 2000; LIBARDI, 2005; BRAIDA et al., 2006). Krzic et al. (2003) determinaram o efeito do carbono orgânico na D_s máxima, concluindo que, independentemente da textura do solo, incremento de 1% de carbono orgânico reduz em cerca de 11% a densidade máxima do solo.

Alvarenga et al. (2007) obtiveram resultados onde a D_s e a porosidade do solo estão intimamente relacionadas com o movimento e o armazenamento de água, e com o crescimento das raízes das plantas, assumindo, portanto, grande importância agronômica e no manejo e conservação do solo e da água.

A variação da D_s está relacionada com características intrínsecas do solo, notadamente a textura e a MOS. Bodman e Constantin (1965) trabalhando com misturas de diferentes tamanhos de partículas observaram a influência da textura na D_s . Verificaram que os valores máximos de D_s ocorreram em amostras que continham 75% ou mais de areia na composição da mistura, o que está relacionado a diferentes densidades apresentadas pelas partículas do solo.

Mairinque e Jones (1991) observaram que a estimativa da D_s variou com o conteúdo de MOS, como a textura do solo e com o tipo de solo, indicando que existem outros fatores que determinam o valor da D_s .

Os valores normais para solos arenosos variam de 1,2 a 1,9 g cm⁻³, enquanto solos argilosos apresentam valores mais baixos, de 0,9 a 1,7 g cm⁻³. Valores de D_s associados ao estado de compactação com alta probabilidade de oferecer riscos de restrição ao crescimento radicular situam-se em torno de 1,65 g cm⁻³ para solos arenosos e 1,45 g cm⁻³ para solos argilosos.

2.2.2. Porosidade do solo

Os poros do solo são representados por cavidades de diferentes tamanhos e formas, determinados pelo arranjo das partículas sólidas (HILLEL, 1972; MARQUES, 2000).

A porosidade total (Pt) é o espaço do solo não ocupado por sólidos e ocupado pela água e ar, definido como sendo a proporção entre o volume de poros e o volume total de um solo. É inversamente proporcional à Ds e de grande importância direta para o crescimento de raízes e movimento de ar, água e solutos no solo.

Têm-se identificado também que a Pt do solo interfere na aeração, condução e retenção de água, resistência mecânica do solo à penetração e à ramificação das raízes no solo e, conseqüentemente, no aproveitamento de água e nutrientes disponíveis (TOGNON, 1991).

O destacado papel do espaço poroso na dinâmica da água no solo foi reconhecido por vários pesquisadores, como Amaro Filho (1982) e Anderson e Bouma (1973), que ressaltam que para se entender melhor o comportamento do solo, a distribuição dos poros por seus tamanhos é mais importante que a porosidade total. A esse respeito, Klein (1998) e Vomocil (1965) afirmam que, para diversos objetivos, tais como o movimento e armazenamento de água e gases, fluxo e retenção de calor e desenvolvimento do sistema radicular, a determinação somente da porosidade total fornece informações de importância limitada. Pelo que, a determinação da distribuição dos poros na matriz do solo se apresenta mais relevante, de acordo com a distribuição dos diferentes tamanhos dos poros, pode-se apresentar restrição do fluxo de água no solo.

Segundo Othmer et al. (1991), a distribuição de poros do solo pode ser avaliada considerando-se uma distribuição bimodal dos mesmos, na qual os poros do solo são classificados em poros inter-agregados e poros intra-agregados, em que os poros inter-agregados incluem os macroporos (MA) e mesoporos, caracterizando-se pelo fato de serem rapidamente esvaziados fazendo com que a condução de água pelo solo decresça também rapidamente. Os poros inter-agregados apresentam como função básica a aeração das raízes das plantas e a condução da água de drenagem do solo.

Os tipos de poros estão associados à sua forma, que por sua vez tem relação direta com sua origem. O tipo de poros mais característico são os de origem biológica, que são arredondados e formados por morte e decomposição de raízes, ou como resultado da atividade de animais ou insetos do solo.

A classificação mais usual da porosidade refere-se à sua distribuição de tamanho. A mais usual é a classificação da porosidade em duas classes: micro e macroporosidade. A microporosidade é uma classe de tamanho de poros que, após ser saturada em água, a retém contra a gravidade. Os macroporos, ao contrário, após serem

saturados em água não a retém, ou são esvaziados pela ação da gravidade. A funcionalidade desses poros fica evidente quando se considera que os microporos são os responsáveis pela retenção e armazenamento da água no solo e os macroporos responsáveis pela aeração e pela maior contribuição na infiltração de água no solo.

2.2.3. Resistência mecânica do solo à penetração

A resistência mecânica do solo à penetração (RMSP) é um dos atributos da qualidade física do solo que reflete o efeito das atividades antrópicas. É determinada pela coesão presente no solo e atrito entre as partículas que o compõem (KUNZ et al., 2008), e é variável com a densidade e com a umidade do (PORTUGAL et al., 2010). A elevada Ds resulta em maior RMSP, o que conseqüentemente restringe o crescimento radicular e produção das culturas (LIMA et al., 2013).

Com o aumento de massa por volume do solo promovido pela compactação, resulta também, no aumento da densidade, que por sua vez interfere na RMSP à penetração das raízes (BEUTLER et al., 2005).

Segundo Vepraskas e Miner (1986), valores de RMSP de 2,8 a 3,2 MPa retardam a elongação das raízes e com 4,0 MPa não há crescimento de raízes. Considerando que uma redução de 40% do comprimento radicular é crítica à produtividade das plantas (PABIN et al., 1998), Cintra e Mielniczuk (1983) encontraram uma redução de 50% no comprimento radicular de várias culturas, quando a RMSP atingiu 1,1 MPa, em um Latossolo Roxo, muito argiloso.

Segundo Silva et al. (2000), o SPD apresenta maiores valores de RMSP e maior estado de compactação, especialmente na camada de 7,5 a 17,0 cm, quando comparado com o sistema convencional. No entanto, a maior resistência mecânica do solo à penetração não reduziu a produtividade da soja.

Considera-se também que a tendência de redução da RMSP em profundidade se deve ao efeito do secamento do solo na superfície (TORMENA et al., 2002), dificultando a penetração das raízes e limitando assim a capacidade da planta de fornecer água e nutrientes a parte aérea, afetando a produtividade da cultura.

2.3. Manejo por plantas de coberturas e correlação com a física do solo

A rotação de culturas, na atualidade, é uma prática relativamente conhecida e usual entre os produtores agrícolas no Brasil e no mundo, tendo sido incorporado o

conhecimento ao longo do tempo, aprimorando seu uso e adotando-a como uma metodologia técnico-científica.

A alternância a cada ano e/ou safra de espécies a serem cultivadas em uma mesma área agrícola (FRANCHINI et al., 2011; BOGIANI, 2015) é uma prática tradicional e amplamente recomendada, devido à questão nutricional das plantas e de fitossanidade (CRUZ et al., 2003; EMBRAPA, 2003). No entanto, sabe-se que a sua aplicação tem mais eficiência no caso de pragas especializadas em poucas espécies hospedeiras. É uma prática utilizada visando o controle de doenças causadas por fungos de solo, diminuindo a presença do patógeno e sua ação por meio da utilização de antagonistas.

A utilização de plantas de famílias diferentes é de grande relevância porque permite práticas culturais no manejo de pragas na agricultura orgânica, facilitando a quebra do ciclo biológico de pragas e patógenos, e impedindo o passo dos cultivos mais velhos para os mais novos. O período requerido de ausência da cultura deve ter em conta aspectos biológicos e de comportamento da praga.

Outro exemplo clássico é o sistema de rotação com pousio, no qual a MOS diminui na fase de cultivo, a produtividade das culturas diminui, a área é abandonada e as adições ou aportes orgânicos aumentam durante o pousio, resultando num restabelecimento dos teores originais da matéria orgânica. Pela diminuição dos períodos de pousio, os agricultores desenvolveram meios alternativos para manter ou melhorar a fertilidade. Hoje, a agricultura nos trópicos, tanto de regiões úmidas como de regiões semiáridas, ainda se baseiam fortemente na adubação orgânica, na MOS e nos processos biológicos para o manejo da fertilidade do solo (MACHADO, 2001).

A utilização da rotação de cultura tem mostrado efeitos positivos nos atributos físicos do solo, influenciando na densidade (SILVEIRA NETO et al., 2006). Stone e Guimarães (2005) reconhecem que a melhoria nos atributos físicos do solo ocorre geralmente devido ao maior aporte de matéria orgânica no solo ao realizar a rotação de culturas de coberturas, exercendo um papel importante na formação e estabilização dos agregados do solo.

Também é conhecido como outro dos benefícios da rotação de cultura a ciclagem de nutrientes, quando realizado o planejamento adequado das espécies vegetais. Principalmente ao ser selecionadas espécies que possuam sistemas radiculares capazes de atingir diferentes profundidades, permitindo extrair nutrientes contidos em diferentes camadas no perfil do solo (FONSECA et al., 2007; OLIBONE, 2008).

Dentro de essas espécies vegetais encontra-se uma gama ampla de plantas que por seus aportes tanto na produção de massa seca aérea, quanto radicular. Algumas espécies de plantas de cobertura como o milho e as braquiárias possuem a capacidade de reciclar nutrientes essenciais para o crescimento e desenvolvimento das plantas que serão cultivadas em sucessão e, no caso da maioria das leguminosas, como fixadoras do nitrogênio atmosférico. Estas características das plantas de cobertura podem contribuir para reduzir custos de produção, especialmente com fertilizantes químicos, que além de impactarem o custo de produção das culturas cultivadas para produção de grãos, fibras e energia, tratam-se de recursos naturais não renováveis (EMBRAPA, 2017).

2.4. Produção de soja

A soja (*Glycine max* (L.) Merrill) é uma das mais importantes culturas na economia mundial. Segundo CHUNG e SINGH, (2008) o centro de origem primário da planta foi na região hoje chamada Kaoliang (região de cultivo de trigo de Inverno), no nordeste da China. A leguminosa pela sua importância para o desenvolvimento da civilização chinesa, foi considerada um dos cinco grãos sagrados, juntamente com o arroz, trigo, cevada e o milho (SEDIYAMA et al. 2009).

A sua introdução no Brasil foi em 1882, através do professor Gustavo Dutra, professor da Escola de Agronomia da Bahia, quem realizou as primeiras avaliações dos cultivares Trazidos dos Estados Unidos (BLACK, 2000 e EMBRAPA 2003).

Já no ano 2003, o Brasil com 52 milhões de toneladas produzidas (26% da safra mundial) e considerado o segundo produtor de soja no mundo (EMBRAPA 2003). Na atualidade o nível de produção de soja pelo Brasil é alto. Segundo Conab foram produzidas 118 milhões de toneladas (CONAB, 2018).

Pelo alto valor como fonte de matéria prima para as indústrias: agrícola, química, alimentícia e nos últimos tempos para a produção de biocombustível (COSTA NETO et al., 2000), tem-se procurado eficiência no sistema de produção desta cultura não só no Brasil quanto no mundo.

Segundo para EMBRAPA (2016) O aumento da produção de soja, é responsável por mudanças sem precedentes no setor agrícola brasileiro. Inicialmente apoiada pelo trigo, a grande responsável por promover a agricultura empresarial no Brasil, apoiar o desenvolvimento da indústria nacional de maquinário agrícola e sua ampla utilização no processo produtivo, ampliar e modernizar o sistema de transporte e armazenagem,

expandir a fronteira agrícola rumo ao oeste, profissionalizar e incrementar o comércio internacional, modificar e enriquecer a dieta alimentar dos brasileiros (menos gordura animal, mais gordura vegetal), acelerar a urbanização do País (prósperas cidades foram criadas na região sojícola do meio-oeste brasileiro), estimular a migração da população para o interior do País (anteriormente concentrada no Sul, Sudeste e litoral do Nordeste) e tecnificar outros cultivos, cuja produtividade cresceu até mais do que a própria soja.

Também, impulsionou e descentralizou a agroindústria nacional, patrocinando a expansão, igualmente espetacular, da produção de carnes.

Um dos mecanismos que possibilitou a expansão da soja ao longo destas quatro décadas desde a safra de 1967/77 até a década atual, está relacionado diretamente, com, à evolução da área plantada, a produtividade e a produção (CONAB, 2017). Segundo este mesmo autor, parte da expansão da produção brasileira de soja ao longo dos últimos 20 anos é explicada pela expansão na área plantada. Além disso podemos atribuir outra parte do incremento da produção da soja ao aumento da produtividade.

Na safra de 1985/86 a produtividade média das lavouras brasileiras passou de 1.369,4 kg ha⁻¹ para 3.206 kg ha⁻¹ na safra 2018/2019. O que corresponde a um aumento de 24,12 % (EMBRAPA, 2019). Porém, a estabilidade do rendimento médio da soja em torno de 2,5 a 3 mil kg/ha, ao longo dos últimos anos, contribui para o surgimento de ponderações e hipóteses a respeito da possibilidade de tal indicador sofrer incremento nos próximos anos e voltar a crescer, atingindo novos patamares (CONAB, 2017).

Assim como para a produção a área plantada e a produtividade são componentes fundamentais, os estados de maior produção são importantes para a produção do Brasil. Cinco foram os estados (Mato Grosso, Rio Grande do Sul, Paraná, Goiás e Mato Grosso do Sul) que concentraram 76,2% da produção nacional (115.030,1 milhões de toneladas) na safra 2018/19 no 75,9% da área cultivada com soja (35.874,1 mil hectares) com uma produtividade média dos cinco estados de 3.185,2 kg/há (CONAB 2019).

Com todo, boas práticas de manejo na lavoura, incluindo o manejo dos solos (correção de acidez), inoculação de sementes para fixação biológicas de nitrogênio, adubação balanceada com macronutrientes e micronutrientes, que permitem as plantas de soja expressar a sua potencialidade nas diversas condições edafoclimáticas no Brasil (FREITAS, 2011), e considerando que a produtividade é um importante indicador agrícola. têm-se observado que na última década tem apresentado uma estabilidade,

despertando a atenção e o interesse de todas as partes envolvidas no processo produtivo da soja (CONAB 2019).

O estudo desenvolvido pela Conab (2019) mostra que nos últimos 20 anos a área cultivada tem sido a maior responsável pelo aumento nos níveis de produção de Brasil, pelo que é necessário o desenvolvimento de pesquisas e a união de toda a cadeia produtiva da soja para conseguir explorar o potencial produtivo da soja que se situa hoje acima de 8 mil kg ha⁻¹.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Localização e caracterização da área experimental

O experimento foi conduzido na Fazenda Experimental da Universidade Federal da Grande Dourados, localizada no município de Dourados-MS (22°13'58,2"S, longitude de 54°59'38,6"W e altitude de 418 m). O solo da área experimental é o Latossolo Vermelho distroférico (EMBRAPA, 2006; SANTOS et al., 2018), apresentando-se com textura muito argilosa (Quadro 1). A análise química do solo, a partir de amostragem realizada em setembro de 2012, está apresentada no Quadro 2.

QUADRO 1. Análise textural (g kg^{-1}) do Latossolo Vermelho distroférico e densidade de partícula (mg m^{-3}) da área experimental

Profundidade	Argila	Areia	Silte	Dp ⁽¹⁾
0-0,30 m	616,87	139,52	243,59	3,13

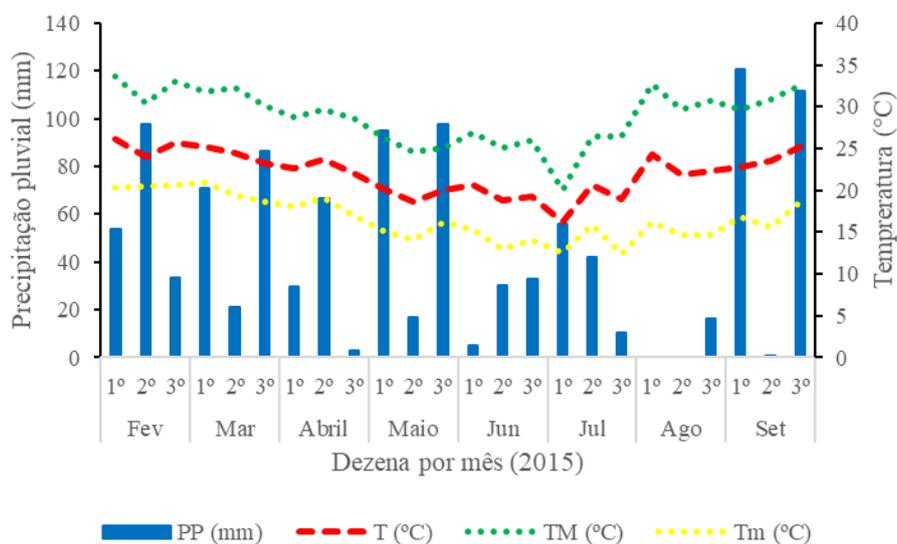
⁽¹⁾ Dp: Densidade de partículas. Fonte: SANTOS et al. (2013).

QUADRO 2. Caracterização química do solo de cada parcela experimental onde foram cultivadas as coberturas vegetal, na profundidade de 0,00 a 0,10 m

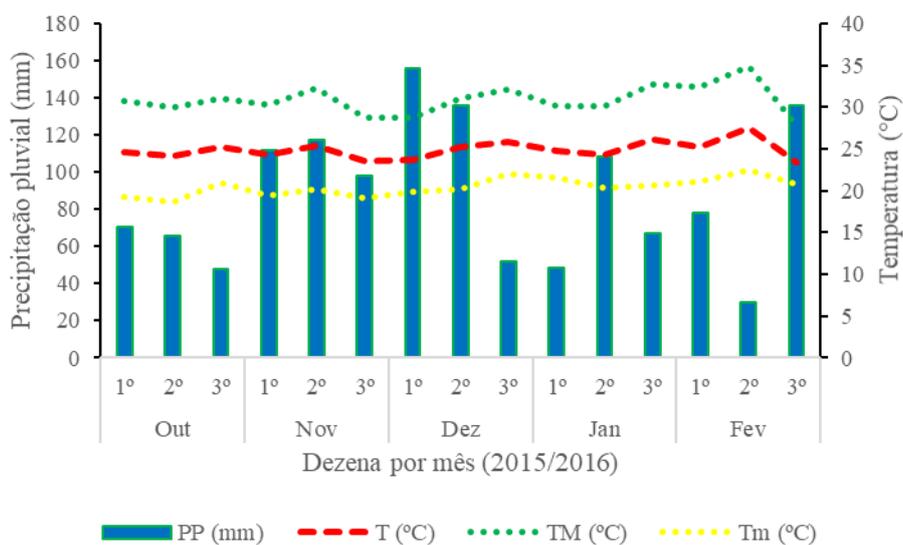
Cobertura vegetal da área	pH*	-----mmolc dm ⁻³ -----						P	S	V	MO
		Al	Ca	Mg	H+Al	K	T				
Pousio	5,9	0,0	66,4	11,6	61,1	4,6	143,8	16,6	14,0	57,9	27,3
Milho+Braquiária**	5,8	0,4	66,0	13,1	62,1	4,4	145,6	19,9	11,6	57,4	28,7
Aveia	5,9	1,2	51,7	10,5	72,4	5,3	139,9	14,2	14,2	48,5	27,4
Braquiária**+Ervilhaca	5,6	0,5	53,3	12,0	69,9	6,5	141,8	19,4	11,3	50,8	28,8
Ervilhaca+Milho	5,9	0,0	62,4	12,7	63,2	3,9	142,2	18,3	12,3	55,4	28,6
Canola	5,8	0,7	57,5	11,5	70,9	6,1	146,1	19,6	11,1	51,6	29,8
Trigo	5,6	0,9	53,3	9,3	77,1	5,7	145,6	18,1	13,4	47,0	31,1
Cártamo	5,9	1,6	53,9	10,5	75,9	6,6	147,0	22,1	16,2	48,7	31,1
Crambe	5,7	1,0	55,6	10,4	66,9	5,9	138,9	25,4	14,2	51,6	27,9
Níger	5,9	0,5	65,3	12,4	60,6	6,9	145,3	28,1	29,6	58,7	29,9

* - pH em água. ** - *Brachiaria ruziziensis*.

O clima, de acordo com a classificação de Koppen é Am (tropical de monções), com precipitação pluviométrica total anual da região é de 1.400 a 1.500 mm e a temperatura média anual é de 22°C (FIETZ et al., 2017). Nos períodos em estudo, conforme dados referentes ao clima (Figuras 1 e 2) as temperaturas mantiveram-se entre médias de 20,0 e 32,0°C, em ambos os períodos. Para o período desde a semeadura até a colheita da cultura da soja nas safras 2015/16 e 2016/17, as precipitações pluviométricas foram de 1.322,4 e 558,5 mm, respectivamente.



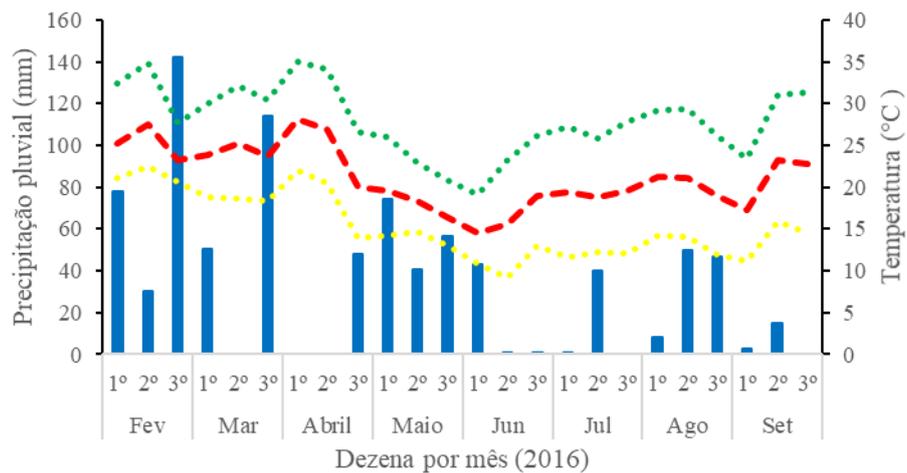
(A)



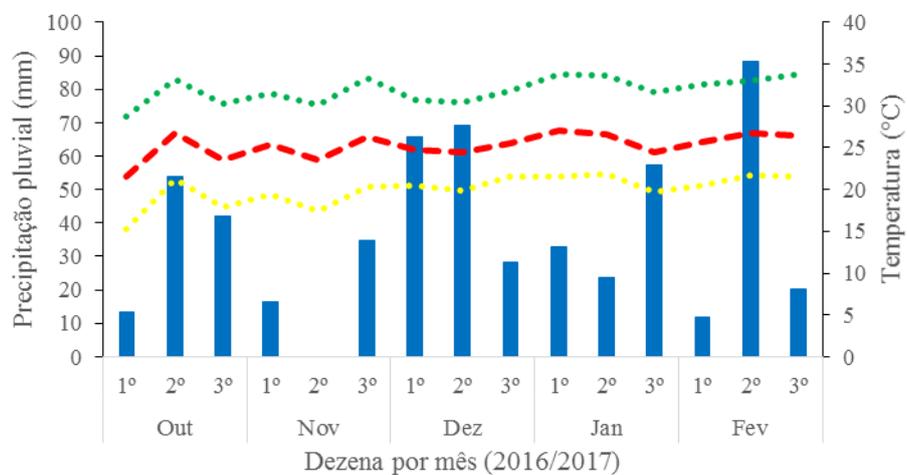
(B)

Fonte: Estação Meteorológica da Embrapa Agropecuária Oeste, Dourados-MS.

FIGURA 1. Precipitação pluviométrica (PP) e temperaturas máximas (TM) e temperaturas mínimas (Tm) por decêndio no período de fevereiro a setembro de 2015 (A) e de outubro a fevereiro da safra agrícola 2015/16 (B).



(A)



(B)

Fonte: Estação Meteorológica da Embrapa. Agropecuária Oeste, Dourados-MS.

FIGURA 2. Precipitação pluviométrica (PP) e temperaturas máximas (TM) e temperaturas mínimas (Tm) por decêndio no período de fevereiro a setembro de 2016 (A) e de outubro a fevereiro da safra agrícola 2016/17 (B).

3.2. Delineamento experimental e tratamentos

O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados com treze tratamentos (Quadro 3) e quatro repetições. Cada unidade experimental possuía 35 m de comprimento por 15 m de largura, totalizando uma área de 525 m².

QUADRO 3. Arranjo dos tratamentos de coberturas do solo de outono/inverno para as duas safras agrícolas de 2015/16 e 2016/17

Tratamentos	Safras	
	2015	2016
T1	Pousio	Pousio
T2	Milho+Ervilhaca	Milho+Ervilhaca
T3	Milho+Braquiária	Milho+Braquiária
T4	Ervilhaca	Aveia
T5	Canola	Braquiária
T6	Braquiária	Ervilhaca
T7	Aveia	Canola
T8	Cártamo	Trigo
T9	Trigo	Nabo forrageiro
T10	Nabo forrageiro	Cártamo
T11	Níger	Crotalária
T12	Crotalária	Crambe
T13	Crambe	Níger

Foram avaliados os componentes de produção da soja em duas safras agrícolas, 2015/16 e 2016/17. As rotações com culturas oleaginosas (canola, cártamo, crambe, níger), de grãos (trigo, aveia, milho+ervilhaca, milho+braquiária), a plantas de cobertura (crotalária, ervilhaca e nabo forrageiro) e braquiária solteira semeadas no outono-inverno de cada safra agrícola e no verão aconteceu a rotação com soja. Foi deixada uma unidade experimental com pousio no outono-inverno e soja no verão em ambas as safras.

3.3. Implantação dos tratamentos

A área onde foi conduzido o experimento é um local onde foram desenvolvidos experimentos em sistema plantio direto, rotação e sucessão de culturas desde o ano de 2009, momento em que foi realizada aplicação de calcário (4 mg ha⁻¹) e gesso (2,0 mg ha⁻¹), conforme aos requerimentos apresentados na ocasião por análise de solo.

Como os tratamentos constavam das culturas antecessoras, estas foram implantadas no outono-inverno de cada ano agrícola, seguindo recomendações de semeadura e condução para cada espécie. No tratamento em pousio não foi realizada nenhuma semeadura no outono-inverno e inverno, e as plantas daninhas foram controladas conforme necessidade apresentada.

No tratamento com milho safrinha (*Zea mays*) + ervilhaca (*Vicia villosa*) foi realizada a semeadura nos dias 27/02/2015 e 19/02/2016 (verão), utilizando uma população de 55.000 plantas ha⁻¹, a adubação utilizada foi de 300 kg ha⁻¹ do formulado 07-20-20 + 0,3 B + 0,3 Zn. No tratamento milho safrinha + braquiária (*Urochloa ruziziensis*), houve semeadura do mesmo híbrido de milho utilizado para cultivo solteiro, entretanto nas entrelinhas foi semeada a braquiária.

A semeadura de níger (*Guizothia abyssinica*), crotalária (*Crotalaria spectabilis*), cártamo (*Carthamus tinctorius* L.), nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L. var. oleiferus), braquiária (*Urochloa ruziziensis*), trigo (*Triticum aestivum*), aveia (*Avena sativa*), ervilhaca (*Vicia villosa*), canola (*Brassica napus* L.) e crambe (*Crambe abyssinica*) foi efetuada no mês de março de cada ano (2015 e 2016), utilizando-se 250 kg ha⁻¹ de 04-20-20 + 0,3 B + 0,3 Zn na semeadura.

Para a semeadura das culturas de outono-inverno foi utilizada uma semeadora-adubadora com oito linhas, espaçadas entre si de 0,4 m. A densidade de semeadura utilizada para trigo e aveia foi 60 sementes m⁻¹, para as demais culturas foi utilizada a densidade de 25 sementes m⁻¹. As culturas de outono-inverno foram colhidas de acordo com a maturação fisiológica de cada espécie. Para a braquiária, o espaçamento entre linhas foi de 0,2 m, com densidade de semeadura de 10 sementes por metro.

A cultivar de soja M6410 IPRO foi semeada nos dias 23/10/2015 e 22/10/2016, utilizando-se semeadora-adubadora, modelo JM2670 PD-POP pneumático, com sete linhas espaçadas entre si a 0,45 m, na densidade de semeadura de 14 plantas m⁻¹. A adubação de semeadura foi de 300 kg ha⁻¹ do formulado 04-20-20 + 0,3 % de B + 0,3 % de Zn. As sementes foram inoculadas com o produto comercial Masterfix® (*Bradyrhizobium japonicum*). O controle de plantas daninhas foi realizado com o herbicida glifosato, na dose de 3 L ha⁻¹. O controle de percevejos foi feito com o inseticida Tiametoxam + Lambda-Cialotrina, na dose 200 mL ha⁻¹ quando presente na área.

3.4. Coleta e processamento de amostras do solo

As amostragens de solo foram realizadas nas áreas úteis das unidades experimentais dos tratamentos, ao se finalizar a coleta da soja, no ano agrícola 2016/17. Foi realizada a amostragem de solo para o estudo do conteúdo de MOS e para avaliação de alguns atributos físicos do solo. Os atributos físicos estudados foram: microporosidade (MI), macroporosidade (MA), porosidade total do solo (PT), densidade do solo (Ds) e resistência mecânica do solo à penetração (RMSP).

3.4.1. Matéria orgânica do solo - MOS

Para cada profundidade (0,00 a 0,10 m e 0,10 a 0,20 m) foi coletada uma amostra deformada que posteriormente analisou-se o conteúdo de MOS. Esta amostra foi colocada em sacos de plástico, devidamente identificada (número da amostra, parcela e repetição, etc.).

Posteriormente foi levada ao Laboratório de Fertilidade de Solo da FCA/UFGD, onde foram abertos os sacos para secar em sombra. Depois as amostras foram maceradas e peneiradas (malha de 0,25 mm).

A análise da MOS foi realizada segundo a metodologia descrita por Embrapa (1997).

3.4.2. Atributos físicos do solo

Para avaliar atributos físicos do solo, ao finalizar a coleta da soja no último ano agrícola, foram retiradas amostras de solo com estrutura preservada por meio de anéis volumétricos (0,0557 m de diâmetro e 0,0441 m de altura), sendo as coletas realizadas na área útil de cada unidade experimental, retirando-se duas amostras por parcelas em um ponto de coleta, centradas em 0,00 a 0,10 m e 0,10 a 0,20 m de profundidade.

As amostras foram envolvidas em papel filme e acondicionadas, e posteriormente levadas a Laboratório de Sistemas de Produção de Oleaginosas do Centro de Agroenergia e Conservação Ambiental da UFGD, onde foram armazenadas em geladeira, visando o mínimo de alteração estrutural e perda de água.

Em seguida, foram levadas ao laboratório de física do solo, onde foram preparadas para análises físico. A porosidade total do solo foi obtida pela diferença entre a massa do solo saturado e a massa do solo seco em estufa a 110°C, durante 24 h

(DONAGEMA et al., 2017). A microporosidade do solo foi determinada pelo método da mesa de tensão com uma coluna de água de 60 cm de altura, conforme o mesmo autor. Pela diferença entre a porosidade total e a microporosidade, obteve-se a macroporosidade.

A densidade do solo foi calculada pela relação entre a massa de solo seco a 110°C durante 24 h e o volume do anel volumétrico no qual o solo foi coletado (DONAGEMA et al., 2017).

Para a avaliação da RMSP, os anéis foram saturados para a uniformização da umidade. Ao atingir o equilíbrio na tensão correspondente a coluna de água de 60 cm de altura, a RMSP foi determinada usando um penetrógrafo eletrônico de bancada com velocidade constante de penetração de 1 cm min⁻¹, diâmetro de base da haste de 4 mm e semiângulo de 30°, pertencente ao Laboratório de Física do Solo da FCA/UFGD. As amostras obtidas nos 5 mm superiores e inferiores da amostra foram descartadas, visando eliminar o efeito da periferia da amostra. A frequência de leituras de RMSP correspondeu à coleta de um valor a cada 0,25 s, obtendo-se 800 leituras por amostra, sendo utilizado o valor médio, conforme Tormena et al. (2007) e Bergamin et al. (2010).

3.5. Características e componentes de produção da soja

As amostragens foram realizadas nos anos agrícolas 2015/16 e 2016/17, nas áreas referidas com cada área útil dos tratamentos em cada parcela.

A colheita da soja foi feita para determinar apenas a produtividade em fevereiro de 2016 e 2017, colhendo-se manualmente duas linhas de cinco metros, amostradas ao acaso dentro de cada unidade experimental. Foram realizadas as seguintes determinações na planta:

- **Altura de planta:** foi determinada no momento da colheita, medindo-se dez plantas ao acaso dentro de cada parcela por repetição, com régua graduada em mm, a distância entre o nível do solo até o ápice da planta.
- **Número de ramificações por planta:** na ocasião da colheita foram escolhidas dez plantas ao acaso por parcela e contabilizado o número de ramificações por planta.
- **Inserção da primeira vagem:** antes da colheita, a altura da inserção foi determinada com régua graduada em mm, tomando-se a distância entre o nível

do solo e o início da primeira inserção da vagem em dez plantas selecionadas ao acaso.

- **Número de vagens por planta:** foram amostradas dez plantas por unidade experimental e em seguida a contagem do número de vagens, com os valores representando a média de vagens por planta.
- **Produtividade:** foi determinada após a maturação fisiológica das plantas e quando as folhas baixas se encontravam amareladas, amostrando-se uma área de 4,5 m², dentro de cada unidade experimental. Após a trilha das plantas em trilhadora estacionária e limpeza dos grãos, eles foram pesados em balança digital, corrigindo-se o teor de umidade para 13 %, com os valores expressos em kg ha⁻¹.

3.6. Análise estatística

Realizou-se a análise de variância e correlação linear das variáveis avaliadas para as coberturas do solo. Considerou-se o efeito tratamento (diferentes coberturas do solo) como fixo e o efeito ano, como aleatório.

Após verificação do atendimento aos pressupostos, realizou-se análise de variância das variáveis físicas e agronômicas e quando significativo, as comparações das médias foram realizadas pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade, utilizando-se como programa computacional SAEG[®], versão 9.1.

Os dados foram submetidos a uma análise exploratória. Para comparação simultânea entre os atributos físicos do solo entre os diferentes usos de coberturas foi realizada uma análise de componentes principais (ACP) para os dados padronizados. As análises foram efetuadas em ambiente R (R CORE TEAM, 2019).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Massa seca das plantas de cobertura

As massas secas de cobertura das áreas amostradas foram semelhantes nos diferentes tratamentos representados pela rotação e a sucessão de culturas do solo nas safras agrícolas 2015/16 e 2016/17 (Quadro 4). O coeficiente de variação obtido dos dados de massa seca da safra 2015/16 foi maior que aquele obtido na safra 2016/17. Em média, a massa seca na safra 2015/16 foi de 4.643,9 kg ha⁻¹ e de 7.201,5 kg ha⁻¹ na safra 2016/17, equivalendo a um aumento de massa seca de 55%. Esse fato pode ser explicado pelo excesso de chuva observado na primeira safra estudada, principalmente as culturas mais indicadas para o cultivo no outono/inverno. Culturas como canola, braquiária, aveia, cártamo, nabo forrageiro, crotalária e crambe tiveram redução na produção de cobertura superior a 30% na condição de excesso de chuva.

QUADRO 4. Resumo da análise de variância e médias da massa seca, das culturas de cobertura do solo, nas safras de 2015/06 e 2016/17. Dourados-MS

Fator de variação	GL	----- Quadrados médios -----	
		2015/16	2016/17
Bloco	3	15,1026	3,8197
Culturas	12	6,2363 ^{ns}	1,9400 ^{ns}
Resíduo	36	5,3328	1,4020
CV	-	49,7	16,4

Culturas de cobertura	----- Massa seca ----- (kg ha ⁻¹)	
	2015/16	2016/17
Pousio*	6.390 a	7.320 a
Milho+Ervilhaca	6.320 a	7.990 a
Milho+Braquiária	5.270 a	7.260 a
Ervilhaca	6.710 a	7.420 a
Canola	4.310 a	7.270 a
Braquiária	4.080 a	6.410 a
Aveia	3.470 a	8.710 a
Cártamo	2.790 a	6.800 a
Trigo	4.570 a	5.930 a
Nabo forrageiro	3.090 a	6.730 a
Níger	5.000 a	6.900 a
Crotalária	4.260 a	7.440 a
Crambe	4.110 a	7.440 a

^{ns} Não significativo (p<0,05). Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade. *Palhada remanescente da soja.

Existem diferentes critérios relacionados à quantidade de massa seca que deve ser aportada pelas plantas utilizadas como coberturas de solo no SPD. Para Cruz et al. (2011), a camada de palhada sobre o solo deve estar formada por pelo menos 4.410 mg ha⁻¹ de resíduos, garantindo pouco escoamento, 100% de infiltração e 0 mg ha⁻¹ de perda do solo, em declividades de 5%. Segundo Bressan et al. (2013), camada de palhada sobre o solo deve ser formada por pelo menos 5.000 kg ha⁻¹ de resíduos. O sucesso do SPD depende em grande medida da presença de palhada na cobertura do solo, pelo impacto positivo, nas condições físicas, químicas e biológica do mesmo (ALVARENGA et al., 2001).

Verificou-se que, na safra 2016/17, os níveis de massa seca aportados pelas diferentes culturas de cobertura foram superiores aos reportados por Cruz et al. (2011) e Bressan et al. (2013), fornecendo cobertura suficiente para a conservação do solo. Por outro lado, na safra 2015/16 as culturas crotalária, crame, canola, braquiária, aveia, cártamo e nabo forrageiro não aportaram valores superiores aos sugeridos pelos dois autores. Vale ressaltar que como não houve diferença estatísticas entre as culturas, considerando a média geral de 4.643,9 mg ha⁻¹, obtida na safra 2015/16, a massa seca das culturas está adequada conforme recomendado por Cruz et al. (2011).

Com a cobertura de resíduos proporcionada nos tratamentos, deve-se reduzir o impacto da gota da chuva (BATTANY e GRISMER, 2000; LEITE et al., 2009) protegendo o solo contra a degradação e a compactação, dificultando o escoamento superficial, aumentando o tempo e a capacidade de infiltração da água da chuva (CRUZ et al., 2011). Como resultado, espera-se haver redução nas perdas de solo e água pela erosão; redução da temperatura do solo (BORTOLUZZI e ELTZ, 2000) e propiciar maior conteúdo de água (ODHIAMBO e BOMKE, 2007) e matéria orgânica no solo (LEITE et al., 2003; WENDLING et al., 2005; LANGE et al., 2006; STEENWERTH e BELINA, 2008). O que irá melhorar os atributos químico, físico e biológico do solo (ESPÍNDOLA et al., 2006; AZEVEDO et al., 2007; ARATANI et al., 2009), contribuindo para a estabilização da produção (NUNES et al., 2006) e recuperação ou manutenção da qualidade do solo (AZEVEDO et al., 2007).

Entre as plantas utilizadas como coberturas de solo estão gramíneas e leguminosas, e cada uma aporta ao agroecossistema os seus melhores recursos. As gramíneas aportam grande quantidade de biomassa, pela sua velocidade de crescimento e a sua decomposição ser lenta, pela sua maior relação C/N, enquanto a leguminosa faz

maior aporte de nitrogênio à cultura sucessora (MATHEIS et al., 2006) e a sua decomposição é rápida liberando nutrientes com maior facilidade.

Fazer a comparação da produção de massa seca nos anos agrícolas (2015/16 e 2016/17), optou-se pela análise de correlação linear, obtendo-se valor de +0,185 ($p < 1\%$) e aumento médio de 35% da primeira para a segunda safra. Assim, podem ser observadas maior massa de coberturas do solo na segunda safra, isto pode estar relacionado às condições climáticas, à mudança das parcelas onde foram estabelecidas de um ano para outro, apresentando condições de solos e presença de alguma substância produzida pelo metabolismo secundário das diferentes coberturas de solo e da cultura antecessora (soja). Isso poderiam limitar o crescimento e desenvolvimento de outras culturas, como acontece no caso dos resíduos da cultura da colza que pode provocar efeito negativo na cultura em sucessão devido às altas concentrações de substâncias tóxicas, como o glucossinalatos liberadas durante o processo de decomposição da palhada e produzido pela planta através do metabolismo secundário (PATRICK et al. 1964; ALMEIDA, 1988).

Isso ocorre, com mais ênfase, principalmente em períodos com distribuição irregular de precipitações pluviais durante o estabelecimento e o desenvolvimento de soja cultivada após colza. O efeito detrimental da colza cultivada no inverno ficou evidenciado sobre a soja em semeadura direta, pela redução da estatura de plantas e pela redução da produtividade de grãos dessa leguminosa, em anos com períodos de estresse hídrico (SANTOS e REIS, 1991).

Os valores de massa seca aportados pelas culturas antecessoras, em todos os casos, sobrepassaram os valores referidos como bom para coberturas verdes. Pelo que se pode observar que a escolha das espécies como culturas de cobertura para anteceder a soja foi acertada, além dos outros fatores que contribuem em viabilizar em grande medida um processo de conservação e manutenção do solo, assim, como um produtivo satisfatório para a cultura sucessora. Um aporte suficiente de cobertura morta, garante menor evaporação e maior disponibilidade de água para a cultura subsequente, no caso a soja, considerando que para nossa região a umidade do solo é um dos principais fatores limitantes nos agroecossistemas de produção. Também traz benefício de forma indireta nos processos de degradação dessa massa seca, e na produção de matéria orgânica.

Além dos benefícios já mencionados, tem-se também o ambiental, com a oportunidade de oferecer ao produtor uma gama de plantas como: a ervilhaca, o cártamo, o nabo forrageiro, entre outras, que oferece a oportunidade de manter uma área

florida por um período de tempo que garante a exploração de abelhas. Verificou-se que a polinização mediada pelo vento parece ser insignificante na cultura de soja, reforçando que a polinização cruzada na soja envolve animais polinizadores, especialmente as abelhas.

Outra das propostas oferecidas com a diversificação na utilização de plantas de cobertura é a produção de sementes de oleaginosas para a produção de óleo, ou até mesmo, biodiesel, além de todo o subproduto que poderia ser utilizado desde a alimentação animal, até na produção de biomassa para produção de energia na indústria.

Além do aporte da palhada, o conhecimento relacionado a qualidade física do solo também é de muita importância, e seu conhecimento na hora da produção de soja. Muitos fatores (indicadores) ligados à estrutura do solo podem influenciar ou incidir diretamente na germinação, desenvolvimento e produtividade da soja.

Entre os indicadores de solo de relevância nos sistemas de produção agrícola de maneira geral e que tem relação direta com o aporte por parte das plantas é a MOS. Esta inclui todos os materiais vegetais e animais incorporados ao solo ou dispostos sobre a superfície do solo na forma viva ou nos diferentes estágios de decomposição, excluindo-se a parte aérea das plantas. Tem influência direta sobre as propriedades físicas, químicas e biológicas dos solos, daí a sua relevância na recuperação e conservação dos solos e seu manejo nos agroecossistemas atuais.

4.2. Matéria orgânica do solo

Os teores de MOS foram maiores na camada superficial (0,00 a 0,10 m), com correlação linear de -0,169 ($p < 1\%$) e redução de 29% para a camada subsuperficial (0,10 a 0,20 m) (Quadro 5). Isso pode ser explicado pela deposição dos restos vegetais das culturas de cobertura, e pelas raízes das mesmas (DUXBURY et al., 1989). Resultados similares foram apresentados por Andrade et al. (2009) na determinação do efeito de culturas de cobertura na qualidade física de um Latossolo Vermelho distrófico em SPD.

QUADRO 5. Resumo da análise de variância e médias do conteúdo de matéria orgânica do solo (%) do solo em função das culturas de cobertura em sucessão e em duas camadas de solo (0,00 a 0,10 m e 0,10 a 0,20 m). Dourados-MS. Após a safra agrícola 2016/17

Fator de Variação	GL	----- Quadrados médios -----	
		0,00 a 0,10 m	0,10 a 0,20 m
Bloco	3	0,4534	0,8144
Tratamentos	12	0,2258 ^{ns}	0,4433*
Resíduo	36	0,2971	0,1805
CV	-	18,6	18,2

Cobertura do solo	---- Matéria orgânica do solo ---- (dg kg ⁻¹)	
	Pousio**	3,026 a
Milho+Ervilhaca	3,133 a	2,044 b
Milho+Braquiária	3,134 a	2,656 a
Aveia	3,175 a	2,404 b
Braquiária	2,619 a	2,143 b
Ervilhaca	3,159 a	2,081 b
Canola	3,023 a	2,205 b
Trigo	2,902 a	2,215 b
Nabo forrageiro	2,904 a	1,887 b
Cártamo	2,867 a	2,684 a
Crotalária	2,561 a	1,996 b
Crambe	3,160 a	2,415 b
Níger	2,540 a	3,154 a

GL: Graus de Liberdade. *Significativo (p<0,05). ^{ns} Não significativo (p<0,05). Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade. **Palhada remanescente da soja.

Não foram observadas diferenças estatísticas para o teor de MOS, na camada de 0,00 a 0,10 m (Quadro 5), entre as culturas de cobertura. Podendo ser explicado pela relação direta que existe entre a incorporação ininterrompida de resíduos pelas diferentes coberturas utilizadas no manejo do solo por períodos longos. Também pode estar relacionado com a tendência do SPD de estabilizar as propriedades do solo pela adição continuada de resíduos, em que a MOS exerce grande influência no processo de formação e estabilização dos agregados sem a perturbação do solo (VEZZANI e MIELNICZUK, 2011) e pela ação dos microrganismos do solo, já que a maior presença de microbiota do solo encontrasse atuando mais ativamente na camada de 0,00 a 0,10 m.

Para a camada de 0,10 a 0,20 m, foi observada contribuição diferenciada de MOS devido a cada cobertura (Quadro 5), mostrando os teores mais altos nas parcelas de milho+braquiaria, cártamo e niger. Esse resultado pode estar relacionado a

velocidade de decomposição das culturas e a sua relação C/N, no caso do níger e do Cártamo, quanto que para a parcela milho+braquiaria poderia estar mais relacionada à produção de raízes, pois o processo de decomposição das gramíneas é mais lento do que as culturas anteriores.

Alguns trabalhos nessa área mostram que a taxa de decomposição e mineralização dos resíduos vegetais é altamente afetada pelas espécies e as características químicas dos resíduos (AZEVEDO e SPEHAR 2002), como: a relação carbono/nitrogênio, o teor de N (C/N), os teores de lignina, polifenóis e o teor de P e a relação C/P do material (VIGIL e KISSEL, 1988; FRANKENBERGER JUNIOR e ABDELMAGID, 1985; MASON, 1980; FULLER et al., 1956).

Também influi na taxa de decomposição da palhada a idade da cultura. Estudos desenvolvidos por Mauad et al. (2013) mostraram que a planta de crambe cortada no florescimento apresenta elevado teor de macronutriente e baixa persistência de palhada (baixa relação C/N), enquanto a planta na colheita apresenta baixo teor de macronutriente e alta persistência da palhada (alta relação C/N).

A diferença observada no aporte de MOS apresentada pelo níger, o cártamo e o milho+braquiária pode estar influenciada diretamente pelo fato de serem culturas que a velocidade de decomposição dos resíduos é acelerada considerando a sua relação C/N. Também poderia estar relacionado a presença dos microrganismos que contribuem de forma direta na degradação e incorporação da MO, facilitando o avanço às camadas subsequentes do solo. Bragatia et al. (2008) em estudo para avaliar a produção de fitomassa de nove espécies de cobertura do solo (*Avena strigosa*, *Cajanus cajan*, *Crotalaria juncea*, *Lablab purpureum*, *Pennisetum americanum*, *Raphanus sativus*, *Guizotia abyssinica* (L.F.) Cass., *Canavalia ensiformis* e *Crotalaria spectabilis*) e verificar as alterações na atividade e biomassa microbiana de solo de cerrado, concluíram que dentro das espécies mais promissoras encontra-se o níger que proporcionou aumento da biomassa microbiana em 107%, devido principalmente à qualidade bromatológica das fitomassas, nas quais a relação C/N foi menor e maior quantidade de folhas em relação à de ramos, material mais lignificado. Também, foi observado como o conteúdo de MOS diminuiu com a profundidade do solo (0,00 a 0,10 a 0,10 a 0,20 m) apresentando seu maior conteúdo de MOS na profundidade de 0,00 a 0,10 m.

De forma geral, a perda da MOS afeta diretamente a qualidade dos solos, diminuindo a fertilidade deles independentemente da cultura. Segundo Schaefer et al. (2002), com a perda da concentração da MOS ocorre também a perda da sustentabilidade do agroecossistema, além da perda de nutrientes como P, K⁺, Ca²⁺ e Mg²⁺.

Segundo Moreira et al. (2005), a MOS como agente estrutural do solo, está diretamente relacionado com a estabilidade da atividade de alguns microrganismos e exsudados de plantas, diretamente relacionados com a produção da parte aérea, da quantidade de raízes das culturas acumulados sobre o solo, como resíduos tanto de plantas comerciais quanto de plantas de cobertura que aumentam os teores e a qualidade da MOS, e conseqüentemente, incrementam a agregação e eleva a disponibilidade de água do solo (SPERA et al., 2006).

Também é importante considerar, os critérios utilizados para a calagem e adubação no sistema convencional podem não ser adequados ao plantio direto (ANGHINONI, 2006), os quais existem também diferentes resíduos deixados pelas plantas de cobertura, neste sistema, tendem a causar importantes efeitos na fertilidade do solo, sendo os principais: acúmulo de MOS; incremento na formação de ácidos orgânicos; maior disponibilidade de macro e micronutrientes nas camadas superiores do perfil do solo; contribuição para o aumento da CTC; diminuição dos efeitos tóxicos do alumínio e manganês; incrementos na mobilização dos nutrientes lixiviados ou pouco solúveis presente nas camadas mais profundas do perfil do solo (reciclagem) (CALEGARI, 2006). Por estes efeitos, neste sistema estabilizado, é observada menor demanda de calcário e adubos (LOPES et al., 2004).

O manejo da fertilidade do solo em sistema plantio direto é diferente do plantio convencional, pois o aumento gradual do teor e qualidade da MOS e da concentração de nutrientes, a partir da superfície do solo, faz com que ocorram distintas alterações no perfil do solo, que influem na dinâmica da acidez e da disponibilidade dos nutrientes (ANGHINONI, 2006).

Resultados obtidos por Salet et al. (1999) mostram a diminuição da toxidez do alumínio em solos em plantio direto por 8 anos, quando comparado com o plantio convencional, evidenciada pelo aumento em quase 2 vezes do alumínio complexado pela MOS, associado à diminuição das espécies mais tóxicas (Al³⁺ e AlOH²⁺), e pela diminuição em 10 vezes da atividade do alumínio em solução.

A inclusão do milho em rotação com soja no verão, e de culturas de duplo propósito como o trigo, aveia branca e cevada, ou de plantas de cobertura como aveia preta, nabo forrageiro e ervilhaca, cultivadas isoladamente ou, preferencialmente, em consórcio, no inverno, contribuem para o aporte de resíduos vegetais ao solo, ciclagem de nutrientes e aumento da MOS do solo (BAYER et al., 2006).

A sucessão de culturas proporcionou a manutenção dos estoques de MOS, colaborando com a estabilidade dos indicadores estudados e não apresentaram diferenças significativas no estudo de solo na área experimental.

Para Reinert et al. (2008), a presença de valores reduzidos de densidade do solo na camada superficial de solos sob plantio direto, ocorre em razão da maior densidade de raízes, maior teor de MOS, ciclos de umedecimento e secagem e do revolvimento parcial no momento da semeadura.

4.3. Atributos físicos do solo

Na camada de 0,00 a 0,10 m e na de 0,10 a 0,20 m não foram observadas diferenças dos valores analisados da macroporosidade, microporosidade, porosidade total, densidade do solo e resistência mecânica do solo à penetração (Quadro 6 e 7).

Os valores de densidade crítica são variáveis em função das características do solo (TORMENA et al., 1998; LIMA et al., 2003). Reichert et al. (2009) reportaram uma relação linear inversa entre a densidade crítica e o teor de argila. Assim, especificamente para Latossolos, os valores de densidade crítica podem variar de 1,21 g cm⁻³ para um teor de argila de 750 g kg⁻¹ (DE MARIA et al., 1999) a 1,68 g cm⁻³ para um teor de 271 g kg⁻¹ (BEUTLER e CENTURION, 2004). Nesse trabalho a densidade média foi de 1,40 g cm⁻³, que estaria próxima de 1,34 g cm⁻³ que é a densidade crítica esperada para a porcentagem de argila da área (Quadro 1).

QUADRO 6. Resumo da análise de variância e médias da macroporosidade (MA, %), microporosidade (MI, %), porosidade total (PT, %) e densidade do solo (Ds, Mg m⁻³) e a resistência mecânica do solo à penetração (RMSP, MPa) obtidas na linha de plantio da soja em função das culturas de cobertura do solo em sucessão, na camada de 0,00 a 0,10 m. Dourados-MS. Após a safra agrícola 2016/17

Fator de Variação	GL	----- Quadrados médios -----				
		MA	MI	PT	Ds	RMSP
Bloco	3	4,2646	129,4337	132,5570	0,6005	1,105
Tratamentos	12	2,0606 ^{ns}	18,7145 ^{ns}	21,6846 ^{ns}	0,2028 ^{ns}	0,468 ^{ns}
Resíduo	36	4,7491	34,3732	35,6218	0,2867	0,681
CV	-	29,9	13,2	11,5	12,07	42,6
Cobertura do solo						
Pousio ^{**}		6,68 a	44,68 a	51,36 a	1,32 a	1,73 a
Milho+Ervilhaca		7,45 a	43,00 a	50,45 a	1,35 a	1,41 a
Milho+Braquiária		7,38 a	42,45 a	49,83 a	1,34 a	2,38 a
Aveia		6,81 a	45,38 a	52,20 a	1,42 a	1,75 a
Braquiária		7,84 a	44,18 a	52,02 a	1,38 a	1,53 a
Ervilhaca		6,29 a	43,01 a	49,30 a	1,42 a	2,33 a
Canola		8,35 a	43,02 a	51,38 a	1,57 a	1,80 a
Trigo		6,82 a	48,99 a	55,82 a	1,28 a	1,58 a
Nabo forrageiro		7,13 a	43,31 a	50,45 a	1,43 a	1,87 a
Cártamo		8,35 a	48,73 a	57,04 a	1,45 a	1,85 a
Crotalária		7,77 a	43,36 a	51,14 a	1,37 a	2,23 a
Crambe		6,10 a	43,52 a	49,63 a	1,40 a	2,33 a
Níger		7,62 a	42,77 a	50,39 a	1,43 a	2,30 a

GL: graus de liberdade ^{ns} não significativo (p<0.05). Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade. ^{**}Palha remanescente da soja.

A macroporosidade é indicador do estado de compactação, visto que a porosidade regula várias propriedades ecológicas do solo (REICHERT et al., 2009). Valores de macroporosidade entre 0,05 e 0,10 m³ m⁻³ têm sido reportados como restritivos ao rendimento das culturas (TORMENA et al., 1998; BEUTLER e CENTURION, 2004). Embora a macroporosidade da área com a culturas esteja nesse intervalo limitante, contudo, restrições ao desenvolvimento radicular, previstas com base em atributos físicos, nem sempre se refletem em redução na produtividade, uma vez que as culturas apresentam diferente tolerância à compactação (REICHERT et al., 2009) e existe uma complexa interação com as condições climáticas e edáficas.

QUADRO 7. Resumo da análise de variância e médias da macroporosidade (MA), microporosidade (MI), porosidade total (PT) e densidade do solo (Ds) e a resistência mecânica do solo à penetração (RMSP) em função das culturas de cobertura do solo em sucessão, na profundidade de 0,10 a 0,20 m. Dourados-MS. Após a safra agrícola 2016/17

Fator de Variação	GL	-----Quadrados médios-----				
		MA	MI	PT	Ds	RMSP
Bloco	3	25,548	35,614	116,467	0,272	2,796
Tratamentos	12	8,895 ^{ns}	48,025 ^{ns}	64,041 ^{ns}	0,115 ^{ns}	0,725 ^{ns}
Resíduo	36	10,621	44,548	49,277	0,932	0,620
CV	-	43,9	15,1	13,6	6,91	47,645
Coberturas do solo		----- m ³ m ⁻³ -----			g cm ⁻³	MPa
Pousio**		8,25 a	44,10 a	52,35 a	1,35 a	1,45 a
Milho+Ervilhaca		6,92 a	43,09 a	50,02 a	1,29 a	1,80 a
Milho+Braquiária		6,71 a	42,98 a	49,69 a	1,31 a	2,61 a
Aveia		11,91 a	45,86 a	57,78 a	1,38 a	2,19 a
Braquiária		8,08 a	45,95 a	54,03 a	1,42 a	1,44 a
Ervilhaca		6,68 a	49,63 a	56,32 a	1,39 a	1,43 a
Canola		7,11 a	34,25 a	41,37 a	1,46 a	1,40 a
Trigo		6,73 a	44,34 a	51,08 a	1,39 a	2,03 a
Nabo forrageiro		6,76 a	45,69 a	52,45 a	1,46 a	1,85 a
Cártamo		7,60 a	45,95 a	53,55 a	1,47 a	1,11 a
Crotalária		6,37 a	43,23 a	49,61 a	1,36 a	1,41 a
Crambe		7,22 a	44,27 a	51,49 a	1,38 a	1,21 a
Níger		6,02 a	43,16 a	49,19 a	1,42 a	1,48 a

GL: graus de liberdade -^{ns} não significativo (p<0.05). Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott, a 5 % de probabilidade. **Palha remanescente da soja.

A microporosidade média ficou próxima de 44 m³ m⁻³, nas duas camadas estudadas (Quadro 6 e 7), isso pode indicar efeito maior da compactação nestas áreas, conforme discutido por Araújo et al. (2013), Bergamin et al. (2010), Arcoverde et al. (2019a) e Arcoverde et al. (2019b). Conforme Bergamin et al. (2010), em Latossolo Vermelho distroférico a composição mineralógica da fração argila condiciona o comportamento da microporosidade em detrimento do manejo do solo.

Entretanto vale ressaltar que as propriedades físicas são influenciadas pela composição mineralógica da fração argila de Latossolo Vermelho distroférico (Bergamin et al., 2010; Arcoverde et al., 2019a; Arcoverde et al., 2019b), a qual pode acarretar altos valores de densidade, menor macroporosidade e maior microporosidade, como nos Latossolos Cauliniticos quando comparados com Latossolos Gibbsíticos (BERGAMIN et al., 2010).

As variações observadas entre as culturas de coberturas quando analisada a RMSP (Quadro 6) pode estar relacionada a diferença de regulação na hora do plantio e

a capacidade de rompimento do solo pelas suas raízes. Apenas as áreas em pousio ou com as culturas milho+ervilhaca, milho+braquiária e braquiária apresentaram valores de RMSP maior que 2,0 MPa, que é considerada restritiva ao crescimento das raízes (BERGAMIN et al., 2010).

4.4. Análise multivariada de atributos do solo e planta de cobertura

A representação gráfica e os índices de correlação dos atributos nos componentes principais permitiram mostrar as culturas de cobertura que apresentaram maior influência sobre as variáveis estudadas (Figuras 3 e 5). A análise de componentes principais (ACP) dos indicadores da qualidade física do solo, nas camadas de 0,00 a 0,10 m e 0,10 a 0,20 m, mostrou interação entre as variáveis estudadas (Figuras 4 e 6).

O autovalor do primeiro componente apresentou uma variância de 38,6%, quando o segundo apresentou 30,10%, explicando 68,7% da variabilidade total dos dados (Figura 3) e no eixo X foram identificados: MA, MI, PT e Ds e no segundo eixo foram representados MOS e RMSP.

Correlações positivas foram observadas entre a MI e a PT, e a correlações negativa entre a MA e a RMSP com um ângulo, quase perfeito de 180° entre os vectores que representam as variáveis. Assim, também foi possível observar como a Ds, mudou com a profundidade do solo, encontrando-se na profundidade de 0,10 a 0,20 m no eixo X e estabelecendo correlação negativa com a MOS, com quem apresentou na primeira profundidade correlação positiva.

As correlações estabelecidas entre os atributos físicos do solo e as coberturas de solo, mostraram que crambe, crotalária e o nabo foram as coberturas que mais aportaram para as variáveis Ds, RMSP e MOS, tal qual a braquiária, ervilhaca e a canola influenciaram a MA, MI e PT (Figura 4).

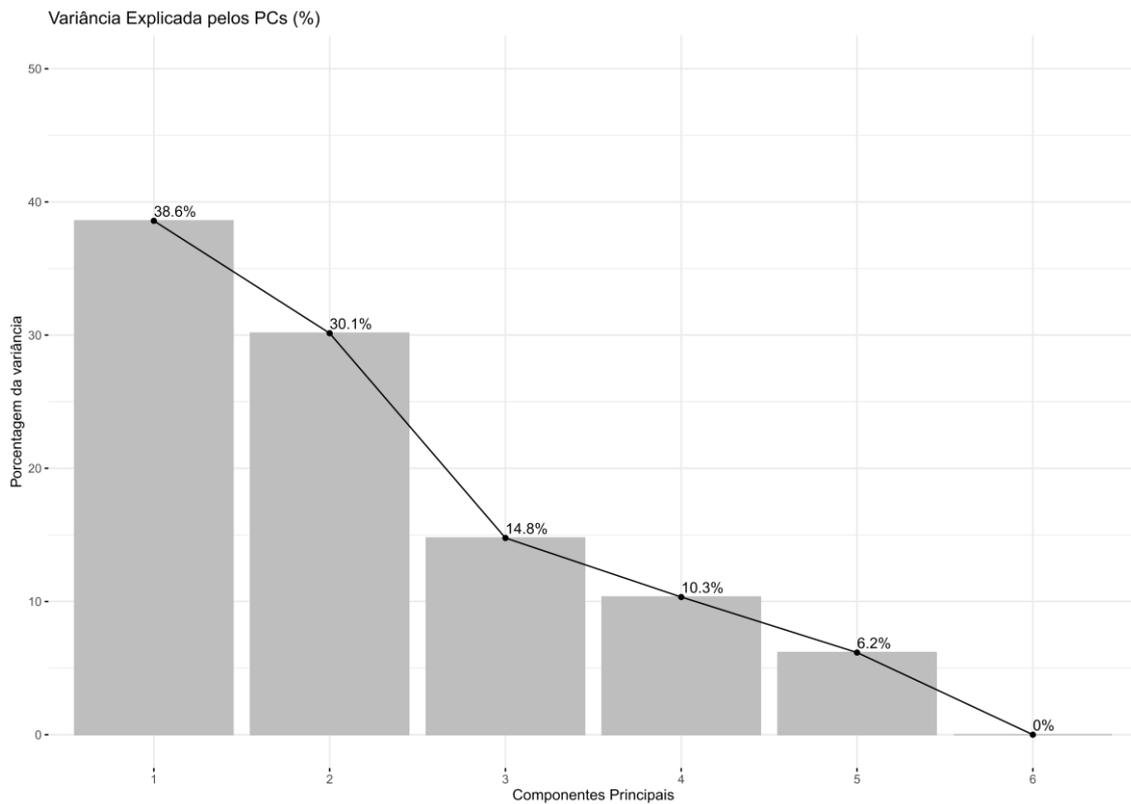


FIGURA 3. Porcentagem da variação explicada pelos Componentes Principais para a profundidade de 0,00 a 0,10 m.

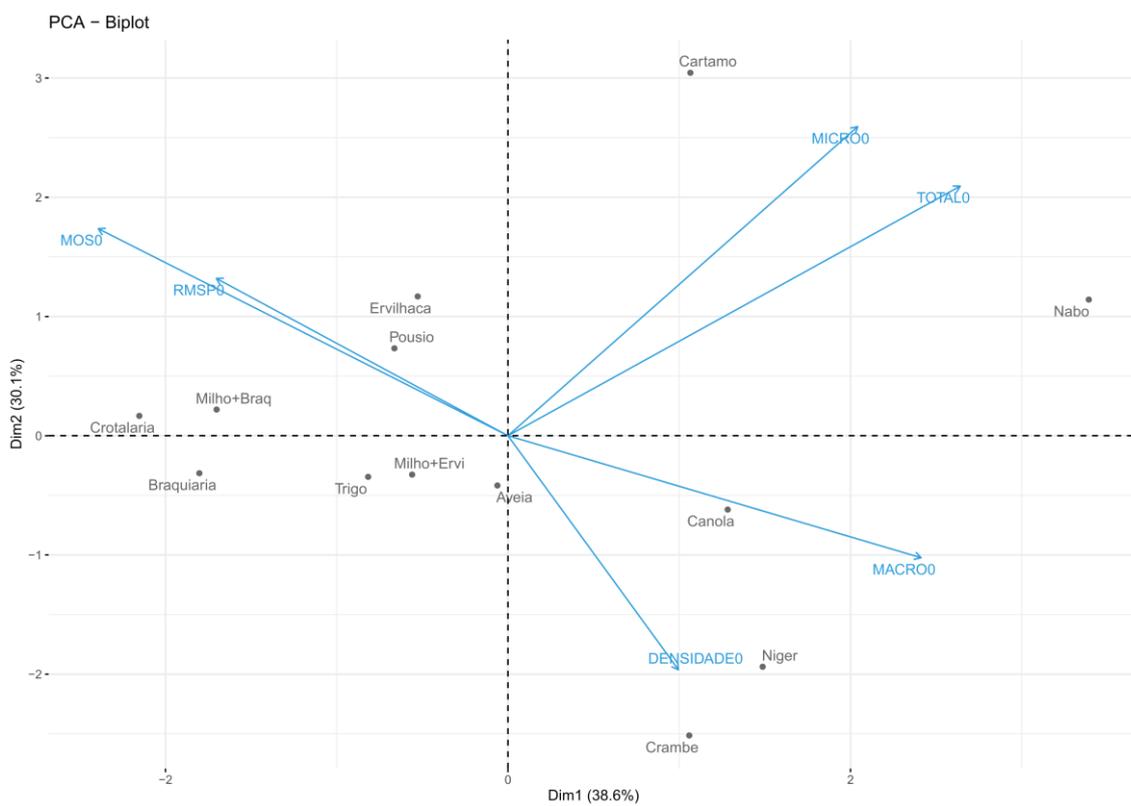


FIGURA 4. *Biplot* dos atributos do solo na camada de 0,00 a 0,10 m e as coberturas verdes.

Para a camada de 0,10 a 0,20 m, o autovalor do primeiro componente apresentou uma variância de 45,4%, quando o segundo apresentou 26,1%, explicando 71,1% da variabilidade total dos dados (Figura 5) e no eixo X foram identificados: MA, MI e PT; e Ds, MOS e RMSP foram representados no segundo eixo.

Na camada de 0,10 a 0,20 m as variáveis físicas do solo mostraram correlação positiva entre a Ds e a MOS, assim também entre a MI e a PT, enquanto entre a MA e RMSP foi observada correlação negativa formando os vetores um ângulo próximo aos 180°.

Também se observaram correlações estabelecidas entre os atributos físicos do solo e as coberturas de solo, mostraram que crambe, crotalária e o nabo foram as coberturas que mais aportaram para as variáveis Ds, RMSP e MOS, tal qual a braquiária, ervilhaca e a canola influenciaram a MA, MI e PT (Figura 6).

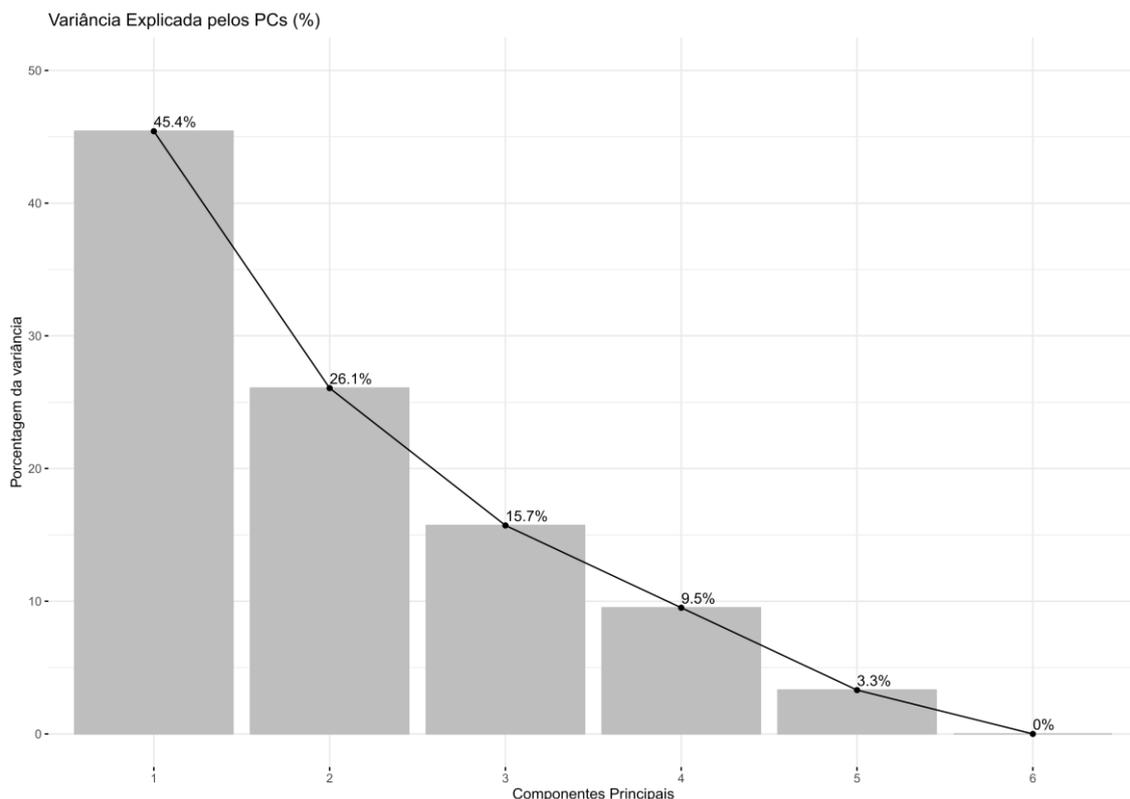


FIGURA 5. Porcentagem da variação explicada pelos Componentes Principais para a camada de 0,10 a 0,20 m.

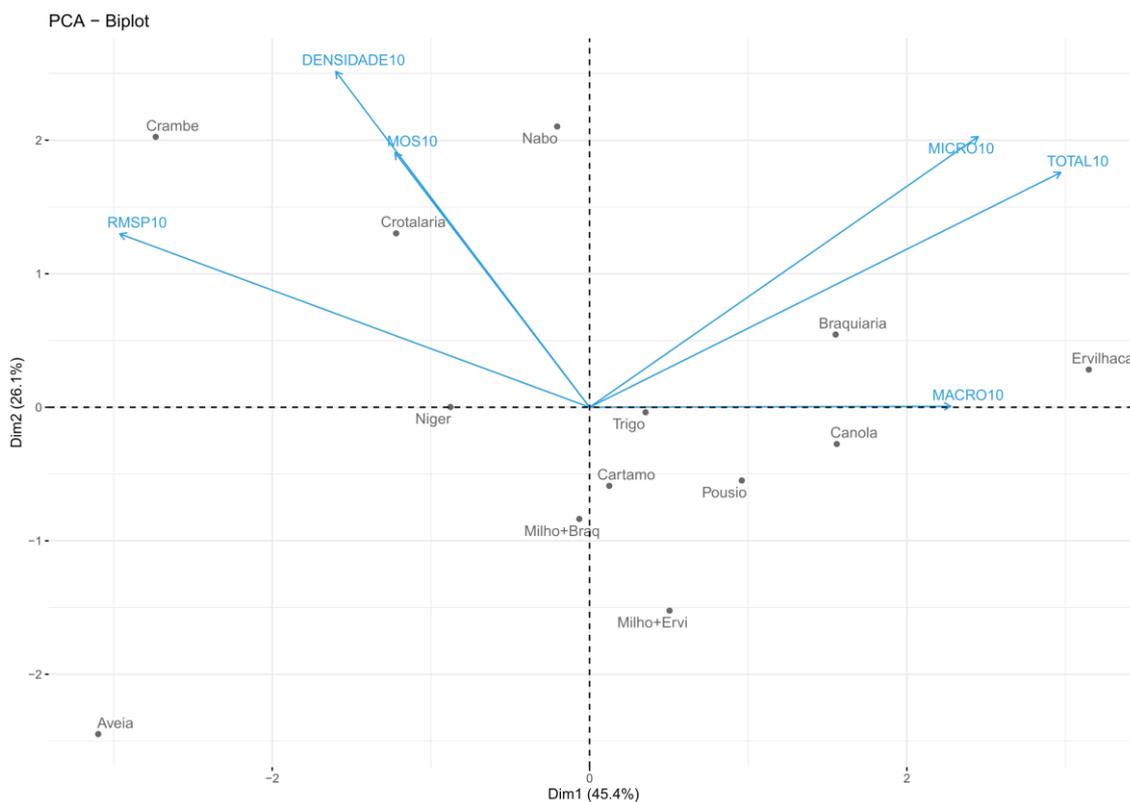


FIGURA 6. *Biplot* dos atributos do solo na camada de 0,10 a 0,20 m e as coberturas verdes.

4.5. Componentes de produção da soja

Os resultados na análise de variância dos dados de altura de planta, a altura da inserção da primeira vagem e produtividade da cultura foram significativos e, portanto, as variáveis apresentaram diferença estatística ($p < 0,05$) quando comparadas para a cultura da soja na safra agrícola 2015/16 (Quadro 8).

Para a altura de plantas de soja, os maiores valores estiveram representados pelas coberturas de canola, braquiária, aveia, cártamo, trigo, nabo forrageiro, crotalária, crambe e níger com valores de altura que vão desde 82,33 até 85,15 cm, diferindo das coberturas pousio, milho+ervilhaca, milho+braquiária e ervilhaca que representaram os de menor altura com valores de 72,80 até 76,60 cm (Quando 8).

Considerando que a altura média do cultivar Monsoy 6410 pode chegar de 86 cm (MONSANTO, 2016) a 92 cm (AGROFÉRTIL, 2019), pode-se observar que os valores encontrados para esta variável estão próximos aos reportados na literatura.

QUADRO 8. Resumo da análise de variância e médias da altura de planta (AP), altura de inserção da primeira vagem (AIPV, cm), número de nós (NN), número de vargens por planta (NV) e produtividade de grãos (PROD) da soja em função das culturas de cobertura do solo em sucessão. Dourados-MS. Safra agrícola 2015/16

Fator de Variação	GL	-----Quadrados médios-----				
		AP	AIPV	NN	NV	PROD
Bloco	3	115,082	8,039	1,018	65,366	24589,00
Tratamentos	12	87,382*	3,843*	0,213 ^{ns}	113,098 ^{ns}	344374,50*
Resíduo	36	15,967	1,419	0,241	159,631	50896,33
CV	-	4,93	9,51	14,08	14,68	4,63
Cobertura do solo		----- cm -----				kg ha ⁻¹
Pousio**		73,80 b	12,53 a	3,0 a	80,0 a	4.477,3 b
Milho+Ervilhaca		76,60 b	10,86 b	3,3 a	87,1 a	4.963,2 a
Milho+Braquiária		72,80 b	12,13 b	3,6 a	87,1 a	4.530,5 b
Ervilhaca		74,45 b	12,35 b	3,5 a	86,4 a	4.655,5 b
Canola		84,45 a	13,85 a	3,8 a	93,9 a	5.150,0 a
Braquiária		82,75 a	13,50 a	3,3 a	85,0 a	4.593,0 b
Aveia		85,75 a	13,75 a	3,3 a	75,0 a	4.862,5 b
Cártamo		85,15 a	12,10 b	3,4 a	84,8 a	5.313,8 a
Trigo		83,30 a	12,80 a	3,5 a	83,4 a	5.102,6 a
Nabo forrageiro		83,85 a	13,25 a	3,5 a	86,6 a	4.918,0 a
Níger		83,35 a	13,10 a	3,6 a	90,7 a	4.598,6 b
Crotalária		83,35 a	11,55 b	3,8 a	94,9 a	4.815,2 b
Crambe		82,33 a	11,00 b	3,3 a	83,3 a	5.343,0 a

GL: Graus de Liberdade. * significativo ($p < 0,05$). ^{ns} não significativo ($p < 0,05$). Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade. **Palha remanescente da soja.

Autores como Freitas (2014) e Pedroso (2011) evidenciaram variações na altura de plantas (milho) em função da cobertura do solo. Segundo Santos e Reis (2003) deve-se considerar que a cobertura vegetal de solo pode proporcionar tantos efeitos positivos como efeitos negativos sobre o crescimento das culturas subsequentes.

Bolonhezi et al. (2015) na avaliação de diferentes genótipos de soja geneticamente modificados em semeadura direta sobre palhicho de cana crua, encontrou altura para M6410 de 78 cm, Silva (2019) de 73,50 cm e Tessele et al. (2016) de 110,88 cm. Dentre os fatores que influenciam a variabilidade na altura das plantas, encontram-se o manejo do agroecossistema, as condições ambientais (clima) e os efeitos alelopáticos provocados nas culturas que sucedem as coberturas de inverno.

Para garantir a eficiência do sistema de rotação de cultura se faz necessário, entre outros fatores, a seleção das espécies a serem utilizadas no agroecossistema de produção de soja, porque existem diversas espécies vegetais que podem gerar

compostos aleloquímicos, que posteriormente serão estocados ou liberados por meio de pelos radiculares, sementes, raízes, colmos e folhas, em quantidades variáveis, capazes de interferir nas culturas subsequentes, comprometendo a produção (NÓBREGA et al., 2009). Um exemplo é a crotalária, que pode, independente da concentração, afetar o desenvolvimento das culturas (NUNES et al., 2014).

Como foi visto a altura da planta de soja, pode variar de acordo com diferentes fatores como o cultivar, estações de crescimento, regiões de cultivo, datas (épocas) e padrões de semeadura. Também a altura da planta de soja, assim como a altura de inserção da primeira vagem resultam em porcentagem de acamamento e apresentam vantagens durante a colheita da cultura (LIMA et al., 2009).

Segundo Medina (1994), a altura de planta e principalmente a altura de inserção da primeira vagem estão entre os fatores que mais influenciam nas perdas e na pureza dos grãos com colheita mecanizada.

Neste trabalho, a altura de inserção da primeira vagem para a cultivar Monsoy 6410 IPRO, nos anos agrícolas 2015/16 (Quadro 8) e 2016/17 (Quadro 9), apresentou diferença de efeito entre as coberturas estudadas. No ano agrícola 2015/16 foi constatada maiores valores para o milho+ervilhaca, o milho+braquiária, a ervilhaca, o cártamo, a crotalária e o crambe das coberturas que reportaram as maiores alturas de inserção da primeira vagem representadas por o pousio, a canola, a braquiária, a aveia, o trigo, o nabo forrageiro e o níger. No entanto para a safra 2016/17, as coberturas de milho+braquiária e o milho+ervilhaca representaram as maiores alturas de inserção da primeira vagem, diferindo do resto das coberturas: canola, crambe, aveia, braquiária, ervilhaca, crotalária, níger, pousio, nabo forrageiro, trigo, cártamo (Quadro 9).

Delavale et al. (2000), estudando os efeitos de coberturas e manejo do calcário na implantação do SPD, verificaram que o milheto e a aveia preta, conduzidos no período de inverno-primavera sob irrigação suplementar, não influenciaram significativamente a altura de inserção da primeira vagem de soja e nem diferiram estatisticamente entre si. Neste experimento, foi constatado que o tratamento sem calcário superou significativamente os tratamentos onde o calcário foi utilizado apenas superficialmente, seja antes da semeadura das coberturas vegetais, ou antes, do manejo destas.

QUADRO 9. Resumo da análise de variância e médias da altura de planta (AP, cm), altura de inserção da primeira vagem (AIPV, cm), número de nós (NN), número de vargens por planta (NV) e produtividade de grãos (PROD) da soja em função das culturas de cobertura do solo em sucessão. Dourados-MS. Safra agrícola 2016/17

Fator de Variação	GL	Quadrados médios				
		AP	AIPV	NN	NV	PROD
Bloco	3	3,452	0,224	0,151	141,334	173230,9
Tratamentos	12	105,852*	3,212*	0,217 ^{ns}	96,500 ^{ns}	85288,4 ^{ns}
Resíduo	36	6,494	0,330	0,159	70,050	128924,5
CV	-	2,9	4,7	10,9	9,6	7,4
Cobertura do solo		----- cm -----				kg ha ⁻¹
Pousio ^{***}		83,25 d	11,75 c	3,2 a	81,1 a	4.621,5 a
Milho+Ervilhaca		92,07 b	11,02 e	3,7 a	89,1 a	4.515,1 a
Milho+Braquiária		96,42 a	11,90 c	3,7 a	87,2 a	4.918,7 a
Aveia		85,92 c	11,82 c	3,4 a	85,3 a	4.878,8 a
Braquiária		85,87 c	12,57 b	4,0 a	92,6 a	4.884,6 a
Ervilhaca		87,80 c	12,90 b	3,6 a	85,3 a	4.833,9 a
Canola		88,77 c	14,02 a	3,5 a	78,2 a	4.710,0 a
Trigo		76,92 e	12,42 b	3,8 a	83,5 a	4.668,3 a
Nabo forrageiro		82,05 d	12,12 c	3,5 a	87,2 a	4.959,0 a
Cártamo		79,20 e	13,15 b	3,4 a	85,8 a	4.800,8 a
Crotalária		87,27 c	12,72 b	3,4 a	96,7 a	4.852,9 a
Crambe		88,77 c	11,47 c	3,9 a	86,6 a	4.673,1 a
Níger		86,83 c	10,75 e	3,8 a	92,2 a	5.011,7 a

GL: Graus de Liberdade. * significativo ($p < 0,05$). ^{ns} não significativo ($p < 0,05$). Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade. **Palha remanescente da soja.

A altura de planta de soja obtida está dentro dos limites considerados ideais para colheita mecanizada no presente trabalho, que varia de 80 a 100 cm, pois facilita a colheita mecanizada, podendo refletir na maior produtividade (ORMOND et al., 2015).

De acordo com Peluzio et al. (2010), valores de inserção da primeira vagem inferiores a 12 cm podem resultar em perdas na colheita e, em consequência, reduzir os ganhos dos produtores. Neste experimento apenas na rotação pousio/soja apresentou inserção de vagem inferior a 12 cm.

Chioderoli et al. (2012) e Pereira Júnior et al. (2010) observaram a altura de inserção da primeira vagem da soja de 14,0 e 15,0 cm, respectivamente, e asseveraram que os valores se encontram dentro dos padrões normais para altura de corte na colheita mecanizada.

Para a safra agrícola 2016/17, a altura de plantas de soja esteve representada por milho+braquiária e milho+ervilhaca (92,07 cm - 96,42 cm), diferindo da canola,

crambe, aveia, braquiária, ervilhaca, crotalária, níger, pousio, trigo, cártamo e nabo forrageiro, todos eles com menor altura (76,92 cm - 88,75 cm).

Para a safra agrícola 2016/17, para o número de nós por planta, número de vagens por planta e produtividade não se observou diferença estatística significativa entre seus valores (Quadro 9).

Observou-se também como na safra agrícola 2016/17, a variação entre as diferentes coberturas foi mais marcada para as variáveis de altura da planta e altura de inserção da primeira vagem em estudo, que mostraram diferenças significativas em cinco grupos de diferenciação, podendo esse resultado estar relacionado diretamente com o déficit hídrico ocorrido nesse período, permitindo a cada cobertura mostrar a real capacidade de minimizar os efeitos da estiagem para a cultura da soja em nossas condições.

Sendo difícil de identificar este fenômeno na safra 2015/16, pela maior abundância de precipitações e a sua distribuição no período do estudo, onde foram mostrados somente dois grupos de diferenciação. Mostrando médias de produção de 4.971,1 kg ha⁻¹ e 4.794,6 kg ha⁻¹.

O fato de não haver efeito das coberturas do solo sobre a produtividade da soja, pode estar relacionado com o longo período de rotação de culturas que a área está sendo submetida, pois o experimento foi instalado em 2009, e pode já ter estabilizado esse componente de produção. Mesmo fato ocorreu com os atributos físicos do solo, que não se alteram com os diferentes cultivos de cobertura testados na área.

5. CONCLUSÕES

As coberturas de braquiária, cártamo e níger proporcionaram maior matéria orgânica do solo na profundidade de 0,10 a 0,20 m.

Os atributos físicos de um Latossolo Vermelho Distroférrico não são alteradas pelo cultivo de diferentes coberturas quando se realiza a rotação de culturas por mais de oito anos consecutivos.

A análise de componentes principais dos atributos físicos e da matéria orgânica do solo demonstra ser uma estratégia eficiente para explicar a variabilidade dos efeitos de culturas de coberturas, em rotação com a soja.

A altura de planta, altura de inserção de primeira vagem e a produtividade da soja são influenciadas pelo manejo de culturas de cobertura em rotação, enquanto o número de vagens e de nós permanece inalterados.

As correlações estabelecidas entre os atributos físicos do solo e as coberturas de solo, mostraram que crambe, crotalária e o nabo foram as coberturas que mais aportaram para as variáveis Ds, RMSP e MOS, tal qual a braquiária, ervilhaca e a canola influenciaram a MA, MI e PT.

A soja tem resposta diferenciadas em função das plantas de cobertura de outono inverno, com destaque para as coberturas milho + braquiária, nabo forrageiro, aveia e o pousio.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGROFÉRTIL, 2019. M 6410 IPRO. Disponível em <<https://www.agrofertil.com.py/producto/semillas-monsoy-m-6410-ipro>> Acesso em: 25 set. 2019

AGROSTAT. **Mapa Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento.** Estatísticas de Comercio Exterior do Agronegócio Brasileiro, 2019. Disponível em:<<http://sistemasweb.agricultura.gov.br/pages/AGROSTAT.html>>. Acesso em: 12 nov. 2019.

AGUIAR, M. I. **Qualidade física do solo em sistemas agroflorestais.** 2008. 91f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG.

ALMEIDA, F. S. **Alelopatia e as plantas.** N.53, p.60. (Circulas Instituto Agrônomico do Paraná 53), Londrina: IAPAR, 1988.

ALVARENGA, R. C.; CABEZAS, W. A. L.; CRUZ, J. C.; SANTANA, D. P. Plantas de cobertura de solo para sistema plantio direto. **Informe Agropecuário**, v.22, n.208, p.25-36, 2001.

ALVARENGA, R. C.; CRUZ, J. C.; VIANA, J. H. M. Manejo de solos: preparo convencional do solo. In: CRUZ, J. C. (Ed.). **Cultivo do milho.** 3. ed. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2007.

AMARO FILHO, J. **Determinação da condutividade capilar mediante o método do perfil instantâneo.** 1982. 90f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal da Paraíba, Areias.

ANDERSON, J. L.; BOUMA, J. Relationships Between Saturated Hydraulic Conductivity and Morphometric Data of an Argillic Horizon. **Soil Science Society of America Journal.** v.37, n.3, p.408-413, 1973.

ANGHINONI, I. Amostragem do solo, dinâmica da acidez e calagem em plantio direto. In: FONTOURA, S. M. V; BAYER, C. **Manejo da fertilidade de solos em plantio direto.** Guarapuava: FAPA, 2006. p.40-51.

ARAGÓN, A.; GARCIA, M. G.; FILGUEIRA, R. R.; PACHEPSKY, Y. A. Maximum compactibility of Argentine soils from the Proctor test: the relationship with organic carbon and water content. **Soil and Tillage Research**, v.56, n.3, p.197-204, 2000.

ARATANI, R. G.; FREDDI, O. S.; CENTURION, J. F.; ANDRIOLI, I. Qualidade física de um Latossolo Vermelho Acriférrico sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.33, n.3, p.677-687, 2009.

ARAÚJO, A. O.; MENDONÇA, L. A. R.; LIMA, M. G.S.; FEITOSA, J. V.; SILVA, F. J. A.; NESS, R. L. L.; FRISCHKORN, H.; SIMPLÍCIO, A. A. F.; KERNTOPF, M. R. Modificações nas propriedades dos solos de uma área de manejo florestal na chapada do araripe. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.37, n.3, p.754-762, 2013.

ARAÚJO, E. A.; KER, J. C.; NEVES, J. C. L.; LANI, J. L. Qualidade do solo: conceitos, indicadores e avaliação. **Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias**, Guarapuava, v.5, n.1, p.187-206, 2012.

ARCOVERDE, S.N.S. **Atributos físicos e desempenho de cultivares de cana-de-açúcar em um latossolo vermelho distroférico submetido a dois sistemas de preparo**. Tese (Programa de Pós-Graduação em Agronomia-Produção Vegetal), Universidade Federal da Grande Dourados. 2018, 136p.

ARCOVERDE, S. N. S.; SOUZA, C. M. A.; CORTEZ, J. W.; MACIAK, P. A. G.; SUAREZ, A. H. T. Soil physical attributes and production components of sugarcane cultivars in conservationist tillage systems. **Engenharia Agrícola**, v.39, n.2, p.216-224, 2019.

ARSHAD, M. A.; LOWER, B.; GROSSMAN, B. Physical tests for monitoring soil quality. In: DORAN, J. W.; JONES, A. J. (Eds.). *Methods for assessing soil quality*. **Soil Science Society of America**, p.123-141, 1996. (Special publication, 49).

AZEVEDO, D. M. P.; SPEHAR, C. R. Decomposição da palhada de culturas para plantio no período de safrinha em solos de tabuleiros costeiros. Teresina: Embrapa Meio Norte, 2002.

AZEVEDO, P. H. S.; SILVA, E. E.; ALMEIDA, M. M. T. B.; DE-POLLI, H.; GUERRA, J. G. M. 2007. Labile organic matter in soil cultivation of cabbage intercropped with green manure legumes under organic management. **Anais do Congresso Brasileiro de Ciência do Solo**, 31, 131p.

BATTANY, M. C.; GRISMER, M. E. Development of a portable eld rainfall simulator for use in hillside vineyard runoff and erosion studies. **Hydrological Processes**, v.14, n.6, p.1119-1129, 2000.

BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J.; PAVINATO, A.; DIECKOW, J. Carbon sequestration in two Brazilian Cerrado soils under no-till. **Soil Till. Res.**, v.86, n.2, p.237-245, 2006.

BERGAMIN, A. C.; VITORINO, A. C. T.; FRANCHINI, J. C.; SOUZA, C. M. A.; SOUZA, F. R. Compactação em um Latossolo Vermelho distroférico e suas relações com o crescimento radicular do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34, n.3, p.681-691, 2010.

BERTONI, J.; LOMBARDI, NETO, F. **Conservação do Solo**. 3.ed. São Paulo: Editora Ícone, 1990. 355p.

BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F. Matéria seca e altura das plantas de soja e arroz em função do grau de compactação e do teor de água de dois latossolos. **Engenharia Agrícola, Jaboticabal**, v.24, n.1, p.142-149, 2004.

BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F.; ROQUE, C. G.; FERRAZ, M. V. Densidade relativa ótima de Latossolos Vermelhos para a produtividade da soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.29, n.6, p.843-849, 2005.

- BLACK, R. J. Complexo soja: fundamentos, situação atual e perspectiva. In: CÂMARA, G. M. S. (Ed.). **Soja: tecnologia de produção II**. Piracicaba: ESALQ, p.1-18, 2000.
- BODMAN, G. B; CONSTANTIN, G. K. **Influence of particle size distribution in soil compaction**. *Hilgardia*, 6:567-591, 1965.
- BOGIANI, J. C. Rotação de Culturas e Manejo para Formação de Palhada no Sistema Plantio Direto. **Boletim Passarela da Soja e do Milho 2014**, Bahia, v.7, n.7, p.15, 2015.
- BOLONHEZI, D.; GONCALVES, N. H. Sucessão e Rotação de Culturas na Produção de Cana-de-Açúcar. In: BELARDO, G. de C.; CASSIA, M. T.; SILVA, R. P. da. (Org.). **Processos Agrícolas e Mecanização da Cana-de-Açúcar**. 1ed. Jaboticabal: SBEA - Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, v.1, p.219-242. 2015.
- BORGHI, E.; CRUSCIOL, C. A. C.; COSTA, C. Desenvolvimento da cultura do milho em consorciação com *Brachiaria brizanta* em sistema de plantio direto. **Energia na Agricultura**. Botucatu, v.21, n.3, p.19-33, 2006.
- BORTOLUZZI, E. C.; ELTZ, F. L. F. Efeito do manejo mecânico da palhada de aveia preta sobre a cobertura, temperatura, teor de água no solo e emergência da soja em sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.24, n.2, p.449-457, 2000.
- BRADY, N. C.; WEIL, R. R. **The nature and properties of soils**. 14th ed. New Jersey: Prentice Hall, 2008.
- BRAGAGNOLO, N.; MIELNICZUK, J. Cobertura do solo por resíduos de oito seqüências de culturas e seu relacionamento com a temperatura e umidade do solo, germinação e crescimento inicial do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.14, n.1, p.91-98, 1990.
- BRAIDA, J. A.; REICHERT, J. M.; VEIGA, M.; REINERT, D. J. Resíduos vegetais na superfície e carbono orgânico do solo e suas relações com a densidade máxima obtida no ensaio Proctor. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.30, n.4, p.605-614, 2006.
- BRESSAN, S. B.; NÓBREGA, J. C. A.; NÓBREGA, R. S. A.; BARBOSA, R. S.; SOUSA, L. B. Plantas de cobertura e qualidade química de Latossolo Amarelo sob plantio direto no cerrado maranhense. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, v.17, n.4, p.371- 378, 2013.
- BROOKES, P. C. The use of microbial parameters in monitoring soil pollution by heavy metals. **Biology and Fertility of Soils**, v.19, n.4, p.269-279, 1995.
- BUENO, B. S.; VILAR, O. M. **Mecânica dos solos**. São Carlos: USP/EESC, 1998
- CABANÊZ, P. A.; FASSARELLA, K. M.; MARQUES, T.; SILVA, T.; FERRARI, J. L. O sistema de plantio direto como mecanismo de desenvolvimento limpo. **Revista Verde**, Mossoró-RN, v.7, n.1, p.16-28, 2012

CALEGARI, A. 2006. Plantas de cobertura. In: CASÃO JR., R.; SIQUEIRA, R. MEHTA, Y.R.; PASSINI, J.J. (eds.) **Sistema Plantio direto com qualidade**. Londrina: IAPAR; Foz do Iguaçu: ITAIPU Binacional, p. 55-73.

CÂMARA, R. K.; KLEIN, V. A. Escarificação em plantio direto como técnica de conservação do solo e da água. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.29, n.5, p.789-796, 2005.

CAMPOS, B. C.; REINERT, D. J.; ALBUQUERQUE, J. A.; NICOLODI, R. Avaliação temporal da umidade do solo como consequência do tipo e percentagem de cobertura vegetal. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.24, n.3, p.459-463, 1994.

CHIODEROLI, C. A.; SILVA, R. P.; NORONHA, R. H. F.; CASSIA, M. T.; SANTOS, E. P. Perdas de grãos e distribuição de palha na colheita mecanizada de soja. **Bragantia**, v.71, n.1, p.112-121, 2012.

CHUNG, G.; SINGH, R. J. Broadening the Genetic Base of Soybean: A Multidisciplinary Approach. **Critical Reviews in Plant Sciences**, Boca Raton, v.27, n.5, p.295-341, 2008.

CINTRA, F. L. D.; MIELNICZUK, J. Potencial de algumas espécies vegetais para a recuperação de solos com propriedades físicas degradadas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.7, n.1, p.197-201, 1983.

CIOTTA, M. N.; BAYER, C.; FONTOURA, S. M. V.; ERNANI, P. R.; ALBUQUERQUE, J. A. Matéria orgânica e aumento da capacidade de troca de cátions em solo com argila de atividade baixa sob plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.33, n.6, p.1161-1164, 2003.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO 2017. **Compêndio de Estudos Conab / Companhia Nacional de Abastecimento**. v.1, Brasília: Conab, 2017 57 p.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO 2019. Grãos: **Acompanhamento da safra brasileira**. v.6, SAFRA 2017/18- N.7-Sétimo levantamento. p.119, 2018. Disponível em:<<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos>>. Acesso em: 15 out. 2019.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO 2019 **Observatório Agrícola. Acompanhamento da Safra brasileira: Grãos** v.6 - SAFRA 2018/19- N. 12 - Décimo segundo levantamento, Setembro 2019. Monitoramento agrícola 47 p.

COSTA NETO, P. R.; ROSSI, L. F. S.; ZAGONEL, G. F.; RAMOS, L. P. Produção de Biocombustível Alternativo ao Óleo Diesel através da Transesterificação de Óleo de Soja Usado em Frituras. **Química nova**. v.23, n.4, p.531-537, 2000.

CRUZ, J. C.; FILHO, I. A. P.; ALBUQUERQUE FILHO, M. R. **Rotação de Culturas. ÁRVORE DO CONHECIMENTO** Milho. Brasília, DF-Brasil. 2019. Disponível em:<<https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/milho/arvore/CONT000>>. Acesso em: 12 out. 2019.

CRUZ, J. C., PEREIRA FILHO, I. A., DE ALBUQUERQUE FILHO, M. R. 2003. **Rotação de Culturas**. EMBRAPA-Parque Estação Biológica. Brasília, DF.

- DAROLT, M. R. **Plantio direto: pequena propriedade sustentável**. Londrina: IAPAR, 1998. 255p. Circular, 101.
- DELAVALE, F. G.; LAZARINI, E.; BUZETTI, S. Efeitos de coberturas e manejo do calcário na implantação do sistema de plantio direto em solo característico de cerrado. In: FERTIBIO, 2000, Santa Maria. **Anais...** Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 2000. 1 CD-ROM.
- DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J.W.; COLEMAN, D.C.; BEZDICEK, D.F.; STEWART, B.A., eds. **Defining soil quality for a sustainable environment**. Madison, SSSA, 1994. p.1-20. (Special, 35).
- DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. **Defining and assessing soil quality**. In: DORAN, J. W.; COLEMAN, D. C.; BEZDICEK, D. F.; STEWART, B. A. (Eds.). **Defining soil quality for a sustainable environment**. Madison: Soil Science Society of America, 1994. p. 3-21. (SSSA special publication, 35).
- DUXBURY, J. M.; SMITH, M. S.; DORAN, J. W.; JORDAN, C.; SZOTT, L.; VANCE, E. Soil organic matter as a source and a sink of plant nutrients. In: Coleman DC, Oades J. M.; Uehara, G. (eds) **Dynamics of soil organic matter in tropical ecosystems**. University of Hawaii Press, Honolulu, pp 33-67, 1989.
- EMBRAPA, 2016. **A Embrapa Soja no contexto do desenvolvimento da soja no Brasil: histórico e contribuições** / Amélio Dall'Agnol. – Brasília, DF. 72 p.
- EMBRAPA, 2019. **Soja**. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/soja/cultivos/soja1>> Acesso em: 15 set. 2019.
- EMBRAPA, 2003. **Práticas de Conservação do Solo e Recuperação de Áreas Degradadas**. Rio Branco, AC: Documentos90, 29p.
- EMBRAPA, 2003. **Tecnologia de produção de soja**. Paraná, Londrina: Embrapa soja. 218p.
- EMBRAPA, 2006. **Indicadores físicos e químicos de qualidade de solo de interesse agrícola**. Jaguariúna, 2006. 8p.
- ESPÍNDOLA, J. A. A.; GUERRA, J. G. M.; ALMEIDA, D. L. Decomposição e liberação de nutrientes acumulados em leguminosas herbáceas perenes consorciadas com bananeiras. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.30, p.321-328, 2006.
- FIETZ, C. R.; FISCH, G. F.; COMUNELLO, É.; FLUMIGNAN, D. L. **O Clima da Região de Dourados, MS**. Documento 138. 3ª edição revista e atualizada. Embrapa Agropecuária Oeste. Dourados, MS. 2017.
- FONSECA, G. C.; CARNEIRO, M. A.; COSTA, A. R.; OLIVEIRA, G. C.; BALBINO, L. C. Atributos físicos, químicos e biológicos de Latossolo Vermelho distrófico de Cerrado sob duas rotações de cultura. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.37, n.1, p.22-30, 2007.

FRANCHINI, J. C.; COSTA, J. M.; DEBIASI, H.; ELENO TORRES, E. **Importância da rotação de culturas para a produção agrícola sustentável no Paraná.** EMBRAPA soja. Londrina-PR, 2011, 52p.

FRANKENBERGER Jr. W. T.; ABDELMAGID, H. M. Kinetics parameters of nitrogen mineralization of leguminous incorporated into soil. **Plant Soil**, v.87, p. 257-271. 1985.

FREITAS, M. E. de. **Rotação e sucessão de culturas com ênfase em oleaginosas de outono-inverno em plantio direto.** 2014. 90f. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) - Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados-MS.

FREITAS, M. C. M. A. Cultura da soja no Brasil: o crescimento da produção brasileira e o surgimento de uma nova fronteira agrícola. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v.7, n.12; p.1-12, 2011.

CHUNG, G.; SINGH, R. J. Broadening the genetics base of soybean: a multidisciplinary approach. **Critical Reviews in Plant Sciences**. v.27, n.5, p.295-341. 2008.

HILLEL, D. Soil moisture control for maximum grass. In: YOUNGNER, V. B.; MCKELLK, C. M. **The biology and utilization of grasses.** London, 1972. p.260-270.

IPNI-International Plant Nutrition Institute. **4C Nutrição de plantas. Um Manual para melhorar o manejo da Nutrição de Plantas.** Piracicaba - SP, International Plant Nutrition Institute. 2013, 134p.

ITAIPU, 2015. **Plantio direto: A tecnologia que revolucionou a agricultura brasileira/** coordenação editorial: Paulino Motter, Herlon Goelzer de Almeida; edição e textos Dimitri Valle; consultor técnico: Ivo Mello-Foz de Iguazu: Parque Itaipu, 2015. ISBN 978-85-98845-42-5.

KEESSTRA, S. D.; BOUMA, J.; WALLINGA, J.; TITTONELL, P.; SMITH, P.; CERDÀ, A.; MONTANARELLA, L.; QUINTON, J. N.; PACHEPSKY, Y.; VAN DER PUTTEN, W. H.; BARDGETT, R. D.; MOOLENAAR, S.; MOL, G.; JANSEN, B.; FRESCO, L. O. The significance of soils and soil science towards realization of the United Nations Sustainable Development Goals. **Soil**, v.2, n.2, p.111-128, 2016.

KLEIN, V. A. **Física do solo.** Passo Fundo: Ediupf, 2008.

KLEIN, V. A. **Propriedades físico-hídrico-mecânicas de um Latossolo Roxo, sob diferentes sistemas de uso e manejo.** Piracicaba, Escola Superior de Agricultura de Luiz de Queiroz, 1998. 150p. (Tese de Doutorado).

KRZIC, M.; BULMER, C.; TESTE, F.; RAHMAN, S.; DAMPIER, L. **Relative measure of bulk density to characterize compaction of forest soils caused by harvest.** Vancouver: UBC, 2003. (Final Report R2003-0219)

KUNZ, A.; MIELE, M.; STEINMENTZ, R. L. R. 2008. Advanced swine manure treatment and utilization in Brazil. **Bioresource Technol**, v.100, n.22, p.5485-5489, 2009.

LAL, R. **Métodos para avaliação do uso sustentável dos recursos solo e água nos trópicos**; tradução e adaptação de Cláudia Conti Medugno e José Flávio Dynia. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 1999. 97p. (Embrapa Meio Ambiente – Documentos, 03).

LAL, R. Physical management of soils of the tropics: Priorities for the 21ST Century. **Soil Science**. v.65, n.3, p.191-207, 2000.

LANGE, A.; CARVALHO, J. L. N.; DAMIN, V.; CRUZ, J. C.; MARQUES, J. J. Alterações em atributos do solo decorrentes da aplicação de nitrogênio e palha em sistema semeadura direta na cultura do milho. **Ciência Rural**, v.36, n.2, p.460-467, 2006.

LEITE, L. F. C; MENDONÇA, E. S.; MACHADO, P. L. O. A.; MATOS, E. S. Total C and N storage and organic C pools of a Red-Yellow Podzolic under conventional and no tillage at the Atlantic Forest Zone, Southeastern Brazil. **Australian Journal Soil Research**, v.41, n.4, p.717-730, 2003.

LEITE, M. H. S.; COUTO, E. G.; AMORIM, R. S. S.; COSTA, E. L.; MARASCHIN, L. Perdas de solo e nutrientes num Latossolo Vermelho-Amarelo ácrico típico, com diferentes sistemas de preparo e sob chuva natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, n. 3, p.689-699, 2009.

LIBARDI, P. L. **Dinâmica da água no solo**. São Paulo: Edusp, 2005.

LIMA, R. P.; LEÓN, M. J.; SILVA, A. R. Resistência mecânica à penetração sob diferentes sistemas de uso do solo. **Scientia Plena**, São Cristóvão -SE, v.9, n.6, p.1-7, 2013.

LIMA, E. V.; CRUSCIOL, C. A. C.; CAVARIANI, C.; NAKAGAWA, J. Características agronômicas, produtividade e qualidade fisiológica da soja “safrinha” sob semeadura direta, em função da cobertura vegetal e da calagem superficial. **Revista Brasileira de Sementes**, vol.31, n,1, p.069-080, 2009.

LLANILLO, R. F.; TELLES, T. S.; VOLSI, B.; JÚNIOR, D. S.; CARNEIRO, S. L.; GUIMARÃES, M. F. Profitability of no-till grain production systems. **Ciências Agrárias**, Londrina, v.39, n.1, p.77-86, 2018.

LOPES, A. S.; WIETHÖLTER, S.; GUIKHERME, L. R. G.; SILVA, C. A. 2004. **Sistema plantio direto: bases para o manejo da fertilidade do solo**. São Paulo: ANDA, 110 p.

LOPES, O. **Plantio direto agroecológico**. Embrapa, 2008. Disponível em: <<http://hotsites.sct.embrapa.br/diacampo/programacao/2008/plantio-direto-ecologico>>. Acesso em: 08 jul. 2013.

MACHADO, P. L. O. de A. 2001. **Manejo da matéria orgânica de solos tropicais / Pedro Luiz Oliveira de Almeida Machado**. - Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 20 p. - (Embrapa Solos. Documentos; n. 24). ISSN 1517-2627 1. Solo tropical - Matéria orgânica - Manejo. I. Título. II Série.

MARQUES, J. D. de O. **Horizontes pedogenéticos e sua relação com camadas hidráulicas do solo**. 2000. 86 f. Dissertação (Mestrado) Escola Superior de Agricultura de Luiz de Queiroz, Piracicaba.

MASON, C.F. **Decomposição**. São Paulo: EPU/EDUSP, 1980. 63p. (Temas de Biologia, 18).

MAUAD, M.; VITORINO, C. T.; SOUZA, L. C. F. de; HEINZ, R.; GARBIATE, M. V. Straw persistence and nutrient release from *crambe abyssinica* according to the time of management. **Revista de Ciências Agrárias/Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences**, v.56, n.1, p.53-60, 2013.

MEDINA, P. F. **Produção de sementes de cultivares precoces de soja, em diferentes épocas e locais do Estado de São Paulo**. 1994. 173f. Tese (Doutorado em Agronomia/Fitotecnia)-Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

MONSANTO. **Variedade de soja Monsoy 6410 tecnologia intacta**. Disponível em:<<http://www.monsoy.com.br/variedades.monsoy>>. Acesso em: 10 set. 2016.

MOREIRA, J. A. A.; OLIVEIRA, I. P.; GUIMARÃES, C. M.; STONE, L. F. Atributos químicos e físicos de um Latossolo Vermelho Distrófico sob pastagens recuperada e degradada. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.35, n.3, p.155-161, 2005.

NÓBREGA, L. H. P.; LIMA, G. P.; MARTINS, G. I.; MENEGHETTI, A. M. Germinação de sementes e crescimento de plântulas de soja (*Glycine max* L. Merrill) sob cobertura vegetal. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v.31, no.3, p.461-465. 2009.

NOGUEIRA, L. **Culturas de inverno: como aumentar o rendimento na propriedade**. Lavoura 10. Disponível em:<<https://blog.aegro.com.br/culturas-de-inverno/2019>>. Acesso em: 25 nov. 2019.

NUNES, J. V. D.; MELO, D.; NÓBREGA, L. H. P.; LOURES, N. T. P.; SOSA, D. E. F. Atividade alelopática de extratos de plantas de cobertura sobre soja, pepino e alface. **Revista Caatinga**, Mossoró, v.27, n.1, p.122-130, 2014.

NUNES, U. R.; ANDRADE JÚNIOR, V. C.; SILVA, E.B.; SANTOS, N. F.; COSTA, H. A. O.; FERREIRA, C. A. Covering crops straw production and common bean productivity in no-tillage system. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, n.6, p.943-948, 2006.

ODHIAMBO, J. J. O.; BOMKE, A. A. Cover crop effects on spring soil water content and the implications for cover crop management in south coastal British Columbia. **Agricultural Water Management**, v.88, n.1-3, p.92-98, 2007.

OLIBONE, A. P. E. **Ciclagem de nutrientes em sistemas de rotação de culturas**. 2008, 141 f.. Tese (Doutorado em Agricultura). Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”. Campus de Botucatu. Botucatu – SP.

OLIVEIRA, W. S.; SILVA, S. A. S.; SILVA, R. M.; MORAIS, P. L. Determinação das propriedades químicas e físicas do solo em Áreas de Preservação Permanente (APP)

com ocorrência de voçoroca, no município de Brasil Novo Pará. **Revista Tree dimensional**, Pro Floresta - Goiânia, v.3, n.5, p.52-63, 2018.

ORMOND, A. T. S.; VOLTARELLI, M. A.; PAIXÃO, C. S. S.; GÍRIO, L. A. S.; ZERBATO, C.; SILVA, R. P. Características agronômicas da soja em semeadura convencional e cruzada. **Revista Agro@mbiente**, On-line, v.9, n.4, p.414-422, 2015.

OTHMER, H.; DIEKKRUGER, B.; KUTILEK, M. Bimodal porosity and unsaturated hydraulic conductivity. **Soil Science**, Baltimore, v.152, n.3, p.139-150, 1991.

PABIN, J.; LIPIEC, J.; WODEK, S. Critical soil bulk density and strength for pea seedling root growth as related to other soil factors. **Soil & Tillage Research**, v.19, p.131-143, 1998

PACHECO, E. P.; CANTALICE, J. R. B. Compressibilidade, resistência à penetração e intervalo hídrico ótimo de um Argissolo Amarelo cultivado com cana-de-açúcar nos Tabuleiros Costeiros de Alagoas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.35, n.2, p.403-415, 2011.

FAO 2015. **Sistema Plantio Direto com Qualidade. Índice de Qualidade Participativo-IQP**. Disponível em: <<https://www.plantiodireto.org>> Acesso em: 15 sep. 2018.

PELUZIO, J. M.; MONTEIRO, F. J.; BARBOSA, V. S.; LOPES, L. A.; AFFÉRI, F. S.; MELO, A. V.; FIDELIS, R. R. Desempenho de cultivares de soja na região centro-sul do Estado do Tocantins – safra 2007/2008. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 26, n. 5, p.675-682, 2010.

JÚNIOR, P. P.; REZENDE, P. M.; MALFITANO, S. C.; LIMA, R. K.; CORRÊA, L. V. T.; CARVALHO, E. R. Efeito de doses de silício sobre a produtividade e características agronômicas da soja [*Glycine max* (L.) Merrill]. **Ciência e agrotecnologia**, v.34, n.4, p.908-913, 2010.

PORTUGAL, A. F.; COSTA, O. D. V.; COSTA, L. M. Propriedades físicas e químicas do solo em áreas com sistemas produtivos e mata na região da Zona da Mata Mineira. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34, n.2, p.575-585, 2010.

POTT, C. A.; DE MARIA, I. C. Comparação de métodos de campo para determinação da velocidade de infiltração básica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.27, n.1, p.19-27, 2003.

REICHERT, J. M.; KAISER, D. R.; REINERT, A. 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, v.44, no.3, p.310-319, 2009.

REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; BRAIDA, J. A. Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. **Revista de Ciências Ambientais**, Canoas, v.27, p.29-48, 2003.

REINERT, D. J.; ALBUQUERQUE, J. A.; REICHERT, J. M.; AITA, C.; ANDRADA, M. M. C. Limites críticos de densidade do solo para o crescimento de raízes de plantas

de cobertura em Argissolo Vermelho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, n.5, p.1805-1816, 2008.

REYNOLDS, W. D.; BOWMAN, B. T.; DRURY, C. F.; TAN, C. S.; LU, X. Indicators of good soil physical quality: **Density and storage parameters**. *Geoderma*, v.110, n.1, p.131-146, 2002.

SALET, L. R. et al. Atividade do alumínio na solução de solo no sistema de plantio direto. **Revista Científica Unicruz**, v.1, p.9-13, 1999.

SALET, R. L.; ANGHINONI, I.; KOCHHANN, R. A. Atividade do alumínio na solução de solo no sistema plantio direto. *Revista Científica Unicruz*, Cruz Alta, n.1, p.9-13, 1999.

SALTON, J.C.; MIELNICZUK, J. Relações entre sistemas de preparo, temperatura e umidade de um Podzólico Vermelho-Escuro de Eldorado do Sul (RS). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.19, n.2, p.313-319, 1995.

SANTOS, H. P.; REIS, E. M. Efeitos de culturas de inverno sobre o rendimento de grãos e sobre a estatura de plantas da soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.26, p.729-735, 1991.

SCHAEFER, C. E. R.; SILVA, D. D., PRUSKI, F. F. PAIVA, K. W. N. ALBUQUERQUE FILHO M. R.; ALBUQUERQUE, M. A. Perdas de solo, nutrientes, matéria orgânica e efeitos microestruturais em Argissolo Vermelho-Amarelo sob chuva simulada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.37, n.5, p.669-678, 2002.

SEDIYAMA, T.; TEIXEIRA, R. C.; REIS, M. S.; Origem, Evolução e Importância Econômica. In: SEDIYAMA T, (Ed.). **Tecnologia de produção e usos da soja**. Londrina: Mecenaz, p. 1-5, 2009.

SILVA, H. R. F.; MELO, V. L.; PACHECO, D. D.; ASSIS, Y. J. M.; SALES, H. R. Acúmulo de matéria seca e micronutrientes em mandioca consorciada com bananeira. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v.44, n.1, p.15-23, 2014.

SILVA, P. L. F.; OLIVEIRA, F. P.; FRANCISCO, P. R. M.; PEREIRA, W. E.; MARTINS, A. F. Correlação entre atributos físicos de solo e produção de matéria seca em gramíneas do gênero brachiaria. Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia. **Anais... CONTECC**, Palmas/TO, 19 de setembro de 2019.

SILVA, V. R.; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; BORTOLUZZI, E. C. Soil water dynamics related to degree of compaction of two Brazilian Oxisols under no-tillage. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.33, n.5, p.1097-1104, 2009.

SILVA, V. R.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. Densidade do solo, atributos químicos e sistema radicular do milho afetados pelo pastejo e manejo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.24, n.1, p.191-199, 2000.

SILVEIRA NETO, A. N.; SILVEIRA, P. M.; STONE, L. F.; OLIVEIRA, L. F. C. de. Efeitos de manejo e rotação de culturas em atributos físicos do solo. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v.36, n.1, p.29-35, 2006.

SOARES, M. D. R.; CAMPOS, M. C. C.; OLIVEIRA, I. A.; CUNHA, J. M.; SANTOS, L. A. C.; FONSECA, J. S.; SOUZA, Z. M. Atributos físicos do solo em áreas sob diferentes sistemas de usos na região de Manicoré, AM. **Revista de Ciências Agrárias/Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences**, v.59, n.1, p.9-15, 2016.

SPERA, S. T.; SANTOS, H. P.; FONTANELI, R. S.; TOMM, G. O. Efeitos de pastagens de inverno e de verão em características físicas de solo sob plantio direto. **Ciência Rural**, v.36, n.4, p.1.193-1.200, 2006.

STEENWERTH, K.; BELINA, K. M. Cover crops enhance soil organic matter, carbon dynamics and microbiological function in a vineyard agroecosystem. **Applied Soil Ecology**, v.40, n.2, p.359-369, 2008.

STONE, L. F.; GUIMARÃES, C. M. **Influência de sistemas de rotação de culturas nos atributos físicos do solo**. Santo Antonio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão. 2005. 15p. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento.

STRECK, C. A.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; KAISER, D. R. Modificações em propriedades físicas com a compactação do solo causada pelo tráfego induzido de um trator em plantio direto. **Ciência Rural**, v.34, n.3, p.755-760, 2004.

TESSELE, A.; MISSIO, R. F.; LORENZETTI, J. B.; TRENTINI, J. C. B.; FURTADO, R. C. N.; MORENO, G. Adaptability and Stability of Soybean Cultivars Under Different Times of Sowing in Southern Brazil. **Journal of Plant Sciences**, v.4, n.2, p.17-22, 2016.

TORMENA, C. A.; BARBOSA, M. C.; COSTA, A. C. S.; GONÇALVES, A. C. A. Densidade, porosidade e resistência à penetração em Latossolo Vermelho distrófico sob diferentes sistemas de preparo do solo. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.59, n.4, p.795-801, 2002.

TORMENA, C. A.; SILVA, A. P.; LIBARDI, P. Caracterização do intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Roxo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.22, n.4, p.573-581, 1998.

USDA. **National Agricultural Statistics Service. Noncitrus Fruits and Nuts 2017: Summary**. Pecan Bearing Acreage, Yield, Production, Price, and Value – States and United States: 2016-2017. p. 103-105. Disponível em: <https://www.nass.usda.gov/Publications/Todays_Reports/reports/ncit0617.pdf>. Acesso em: 12 out. 2018.

VEPRASKAS, M. J.; MINER, G. S. Effects of subsoiling and mechanical impedance on tobacco root growth. **Soil Science Society of America Journal**, v.50, n.2, p.423-427.1986.

VEZZANI, F. M.; MIELNICZUK, J. Agregação e estoque de carbono em argissolo submetido a diferentes práticas de manejo agrícola. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.35, n.1, p.213-223, 2011.

VEZZANI, F. M.; MIELNICZUK, J. Uma revisão sobre qualidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v.33, n.4, p.743-755, 2009.

VIGIL, M. F.; KISSEL, D. E. Equations for estimating the amount of nitrogen mineralized from crop residues. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.55, n.3, p.757-761, 1988.

VOMOCIL, J. A. **Porosity**. New York: Academic, 1965

WENDLING, B.; JUCKSCH, I.; MENDONÇA, E. S.; NEVES, J. C. L. Carbono orgânico e estabilidade de agregados de um Latossolo Vermelho sob diferentes manejos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.40, n.5, p.487-494, 2005.

APÊNDICE A



FIGURA 1A. Coleta e processamento de amostras de solo: a) trincheira para coleta; b) preparo das amostras para análise; d) amostras separadas para análises.

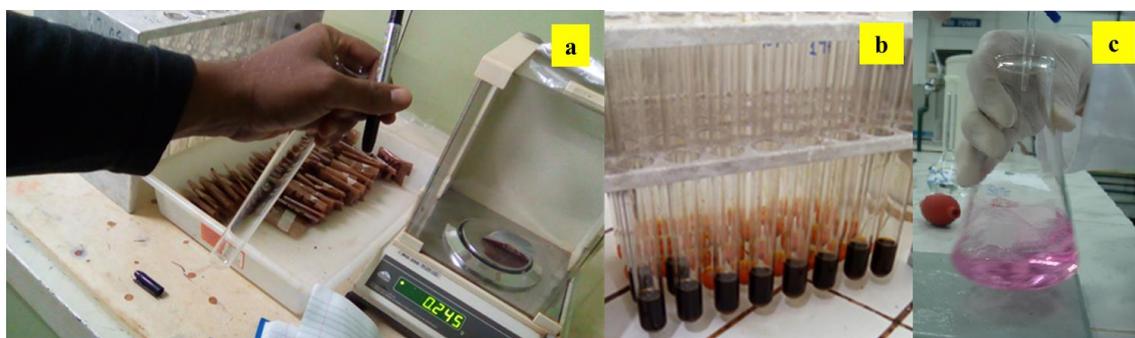


FIGURA 2A. Processamento e análise química das amostras no Laboratório de Fertilidade de Solos da Faculdade de Ciências Agrárias da UFGD.



FIGURA 3A. Processamento de amostra de solo no laboratório de física do solo da FCA/UFGD.



FIGURA 4A. Processamento e análises de amostras no laboratório de física do solo da FCA/UFGD.

APÊNDICE B

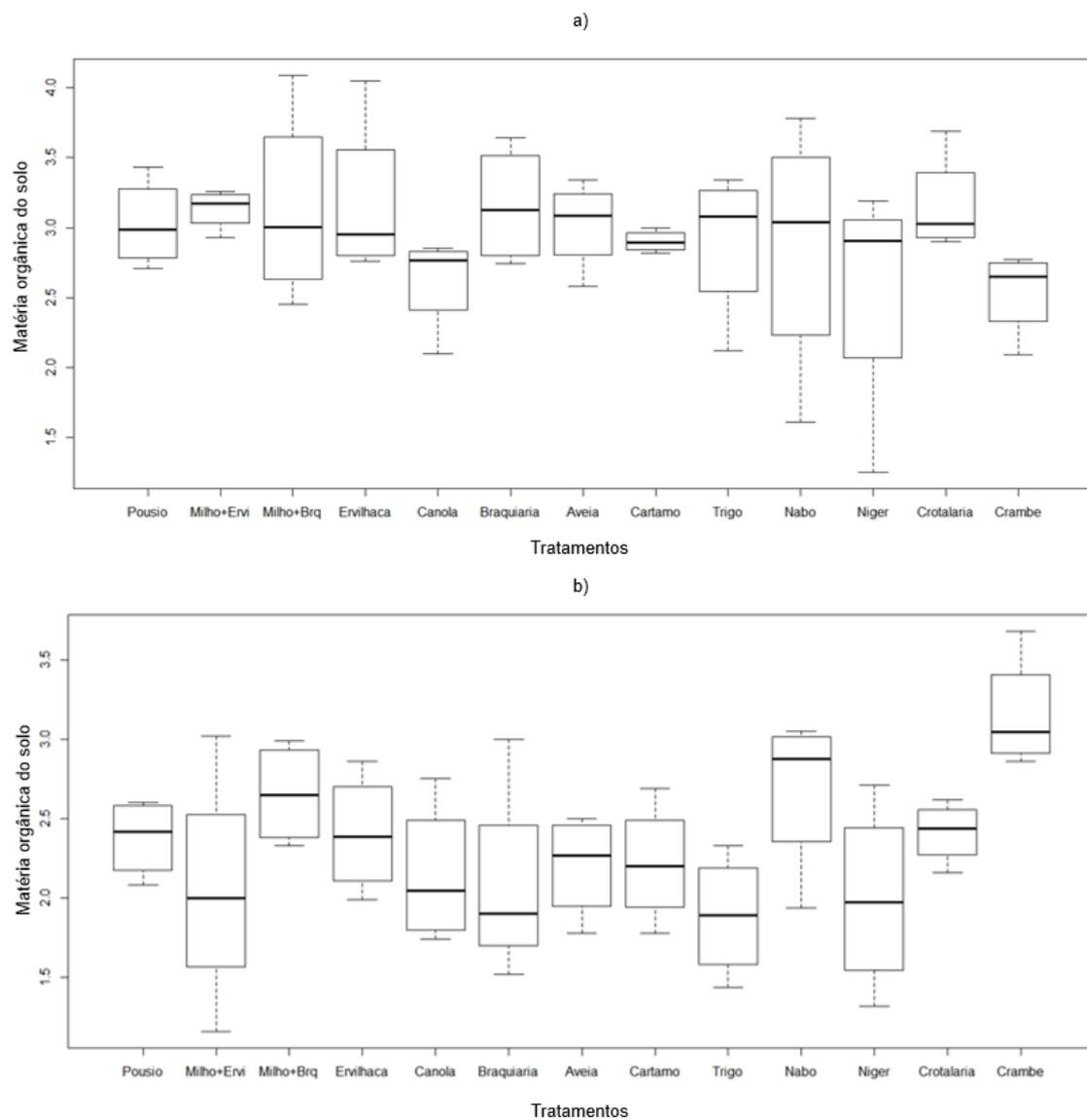


FIGURA 1B. Box-plot para representação gráfica da relação da matéria orgânica do solo. (a) profundidade de 0,0-0,10 m; (b) profundidade de 0,10-0,20 m.

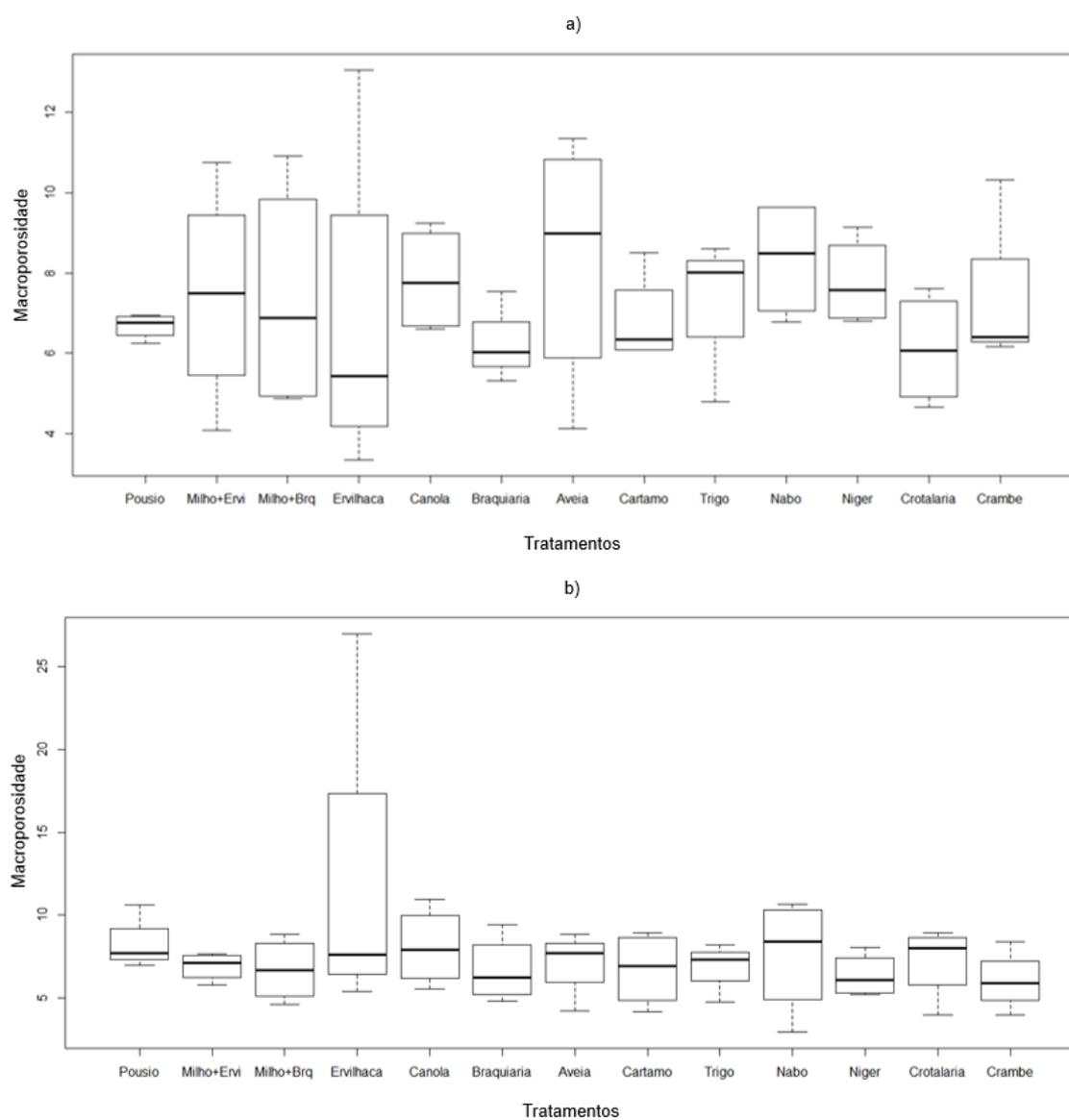


FIGURA 2B. Box-plot para representação gráfica da relação da macroporosidade. (a) profundidade de 0,0-0,10 m; (b) profundidade de 0,10-0,20 m.

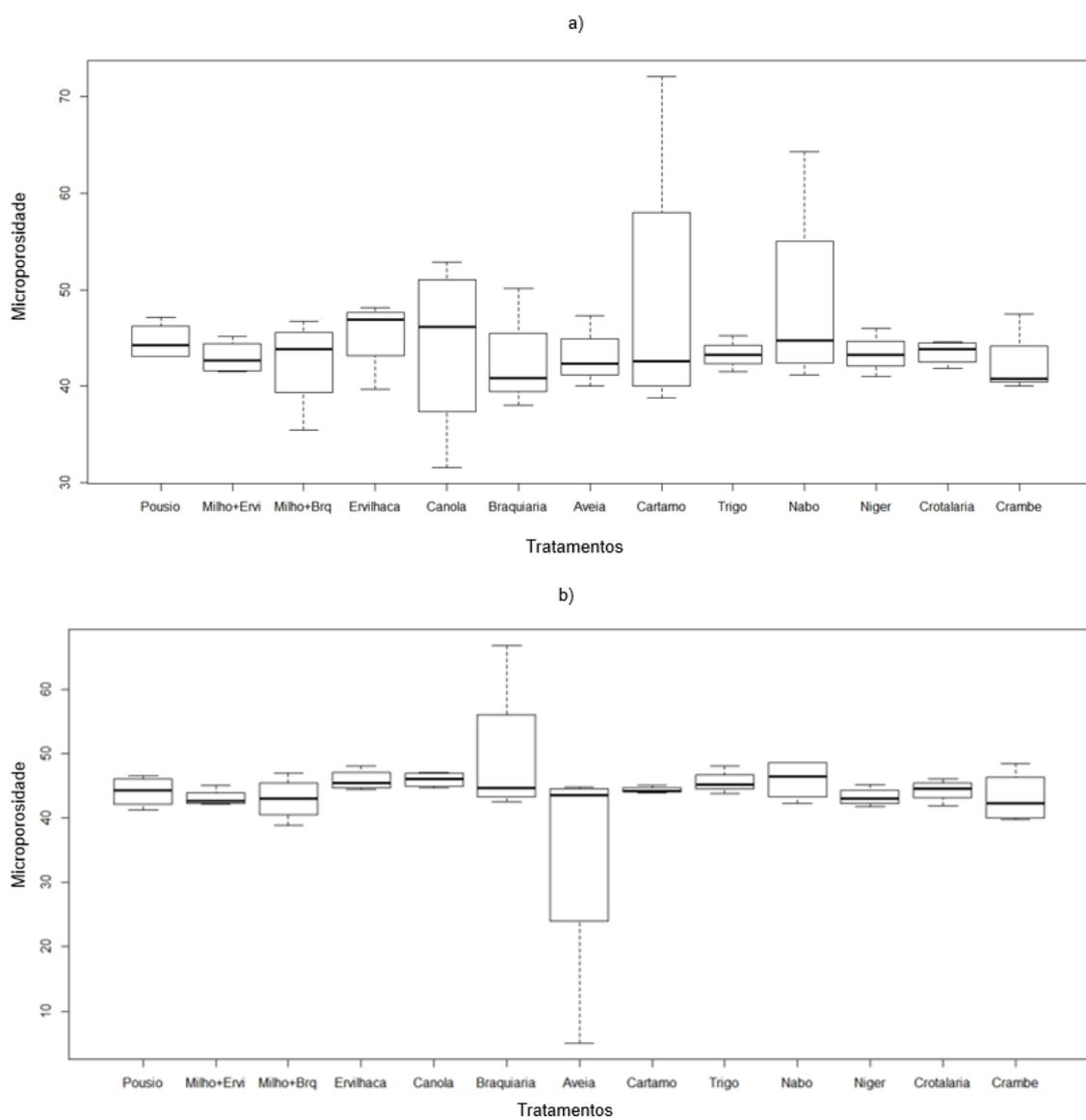


FIGURA 3B. Box-plot para representação gráfica da relação da microporosidade. (a) profundidade de 0,0-0,10 m; (b) profundidade de 0,10-0,20 m.

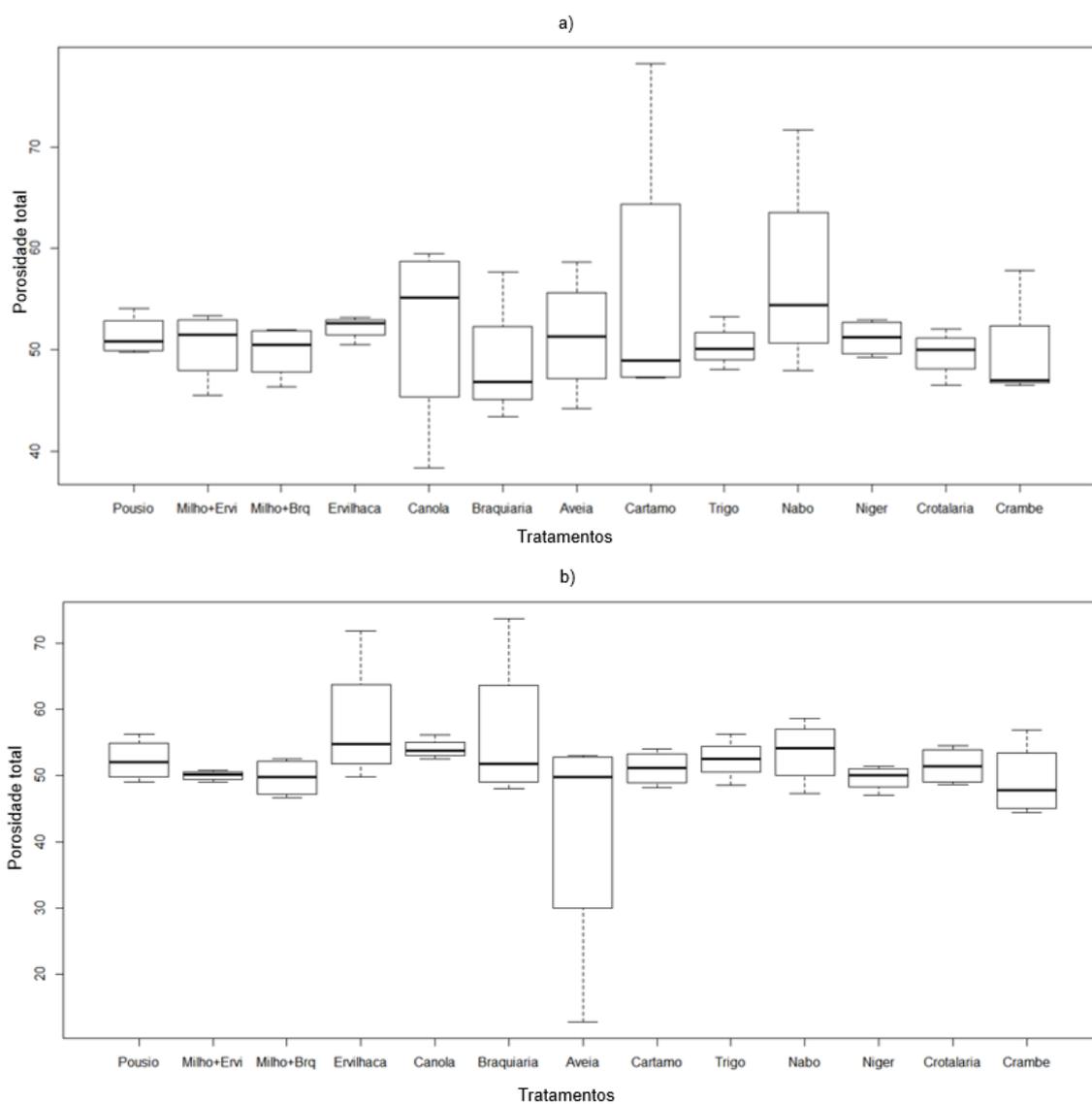


FIGURA 4B. Box-plot para representação gráfica da relação da porosidade total. (a) profundidade de 0,0-0,10 m; (b) profundidade de 0,10-0,20 m.

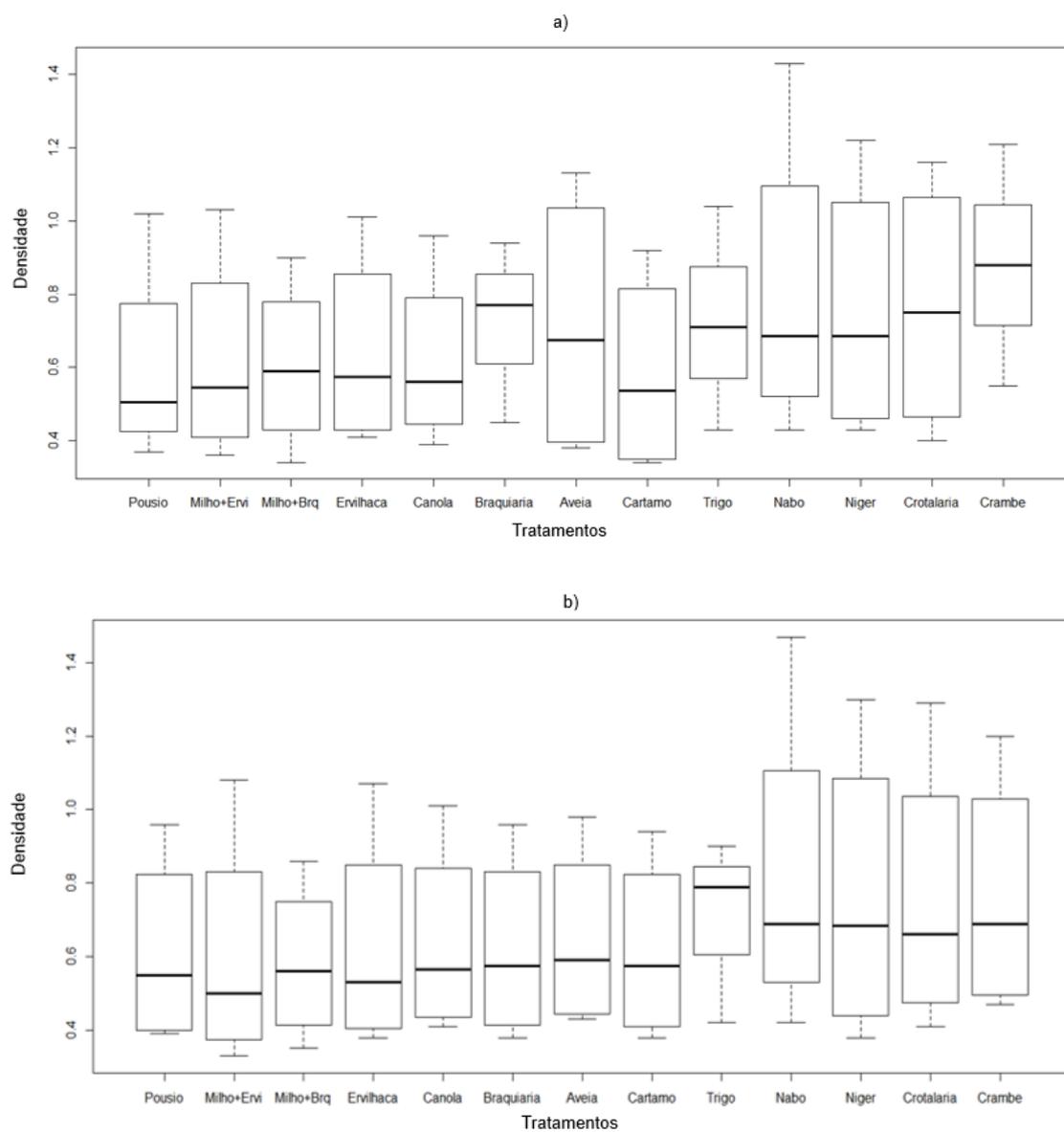


FIGURA 5B. Box-plot para representação gráfica da relação da densidade do solo. (a) profundidade de 0,0-0,10 m; (b) profundidade de 0,10-0,20 m.

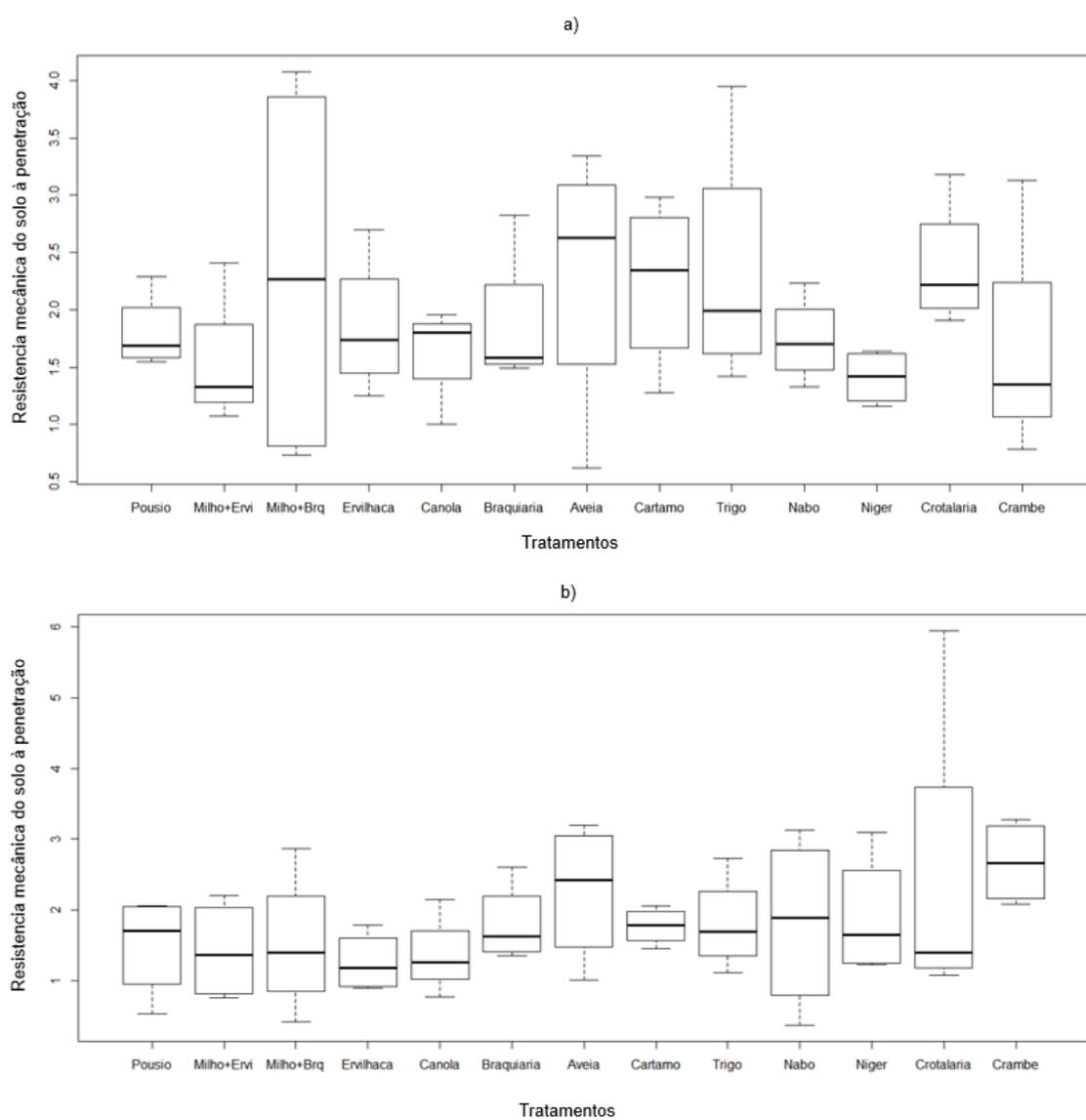


FIGURA 6B. Box-plot para representação gráfica da relação da resistência mecânica do solo à penetração. (a) profundidade de 0,0-0,10 m; (b) profundidade de 0,10-0,20 m.

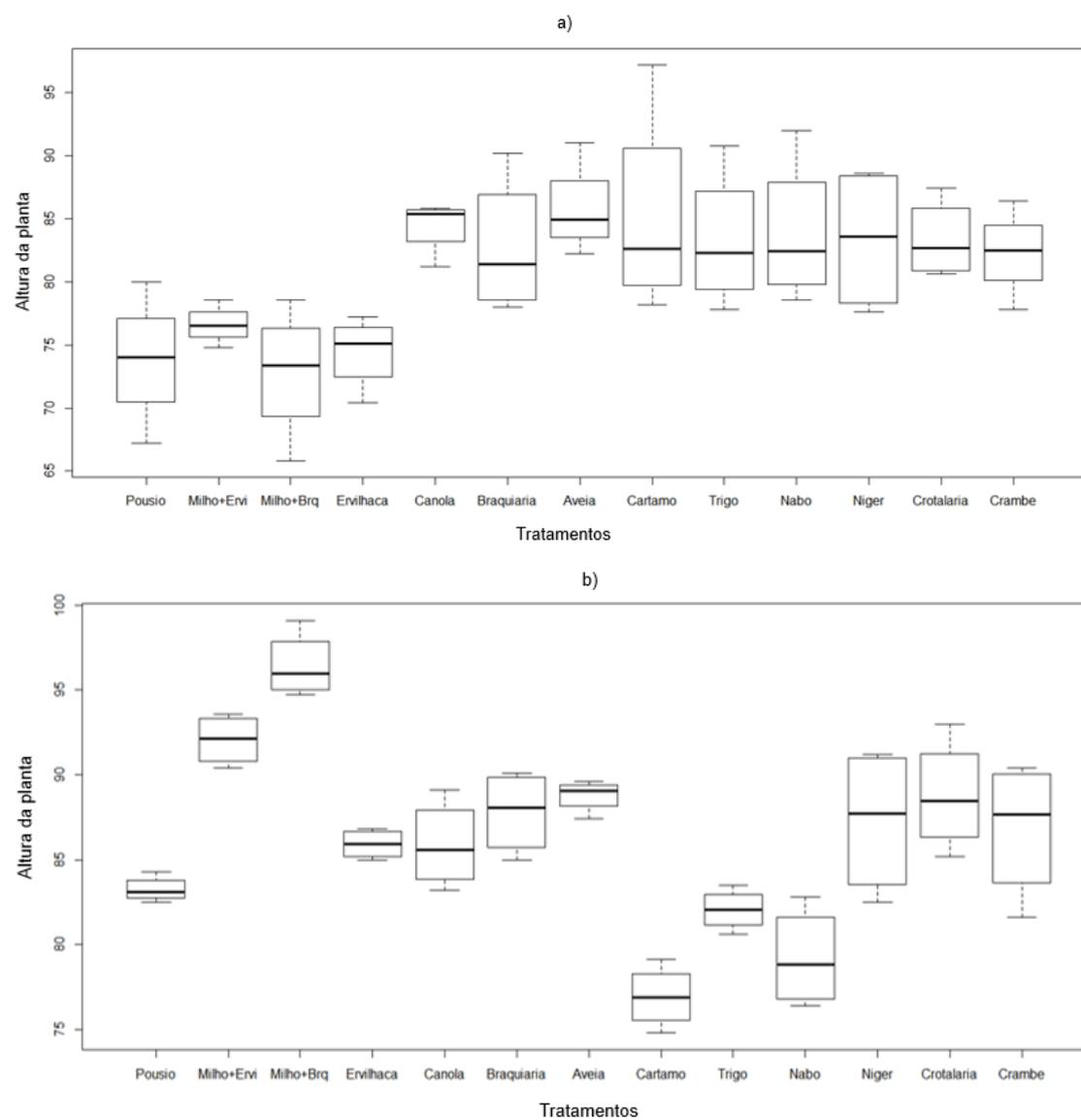


FIGURA 7B. Box-plot para representação gráfica da relação da altura das plantas. (a) Safra 2015/16; (b) Safra 2016/17.

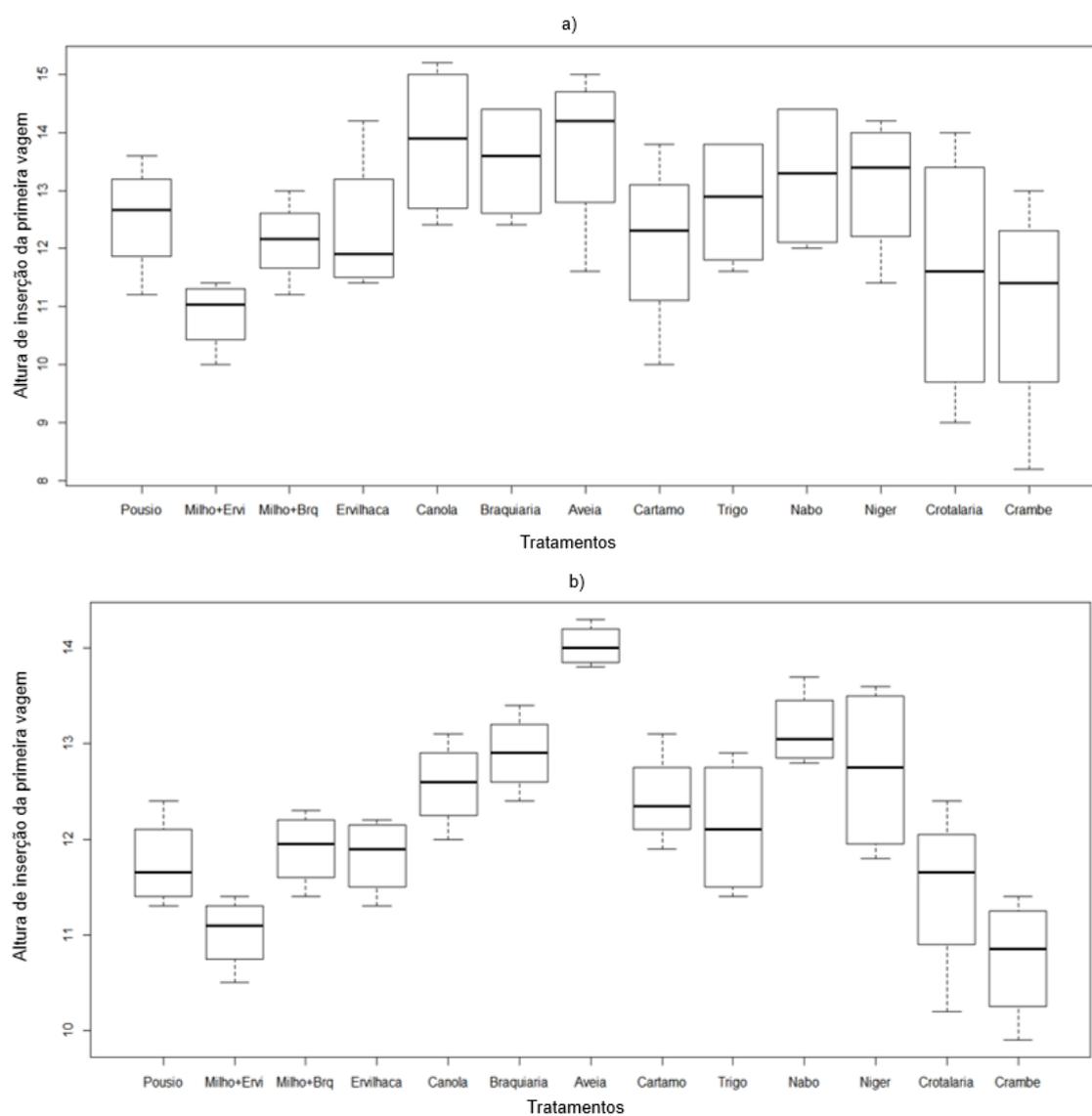


FIGURA 8B. Box-plot para representação gráfica da relação da altura de inserção da primeira vagem: (a) Safra 2015/16; (b) Safra 2016/17.

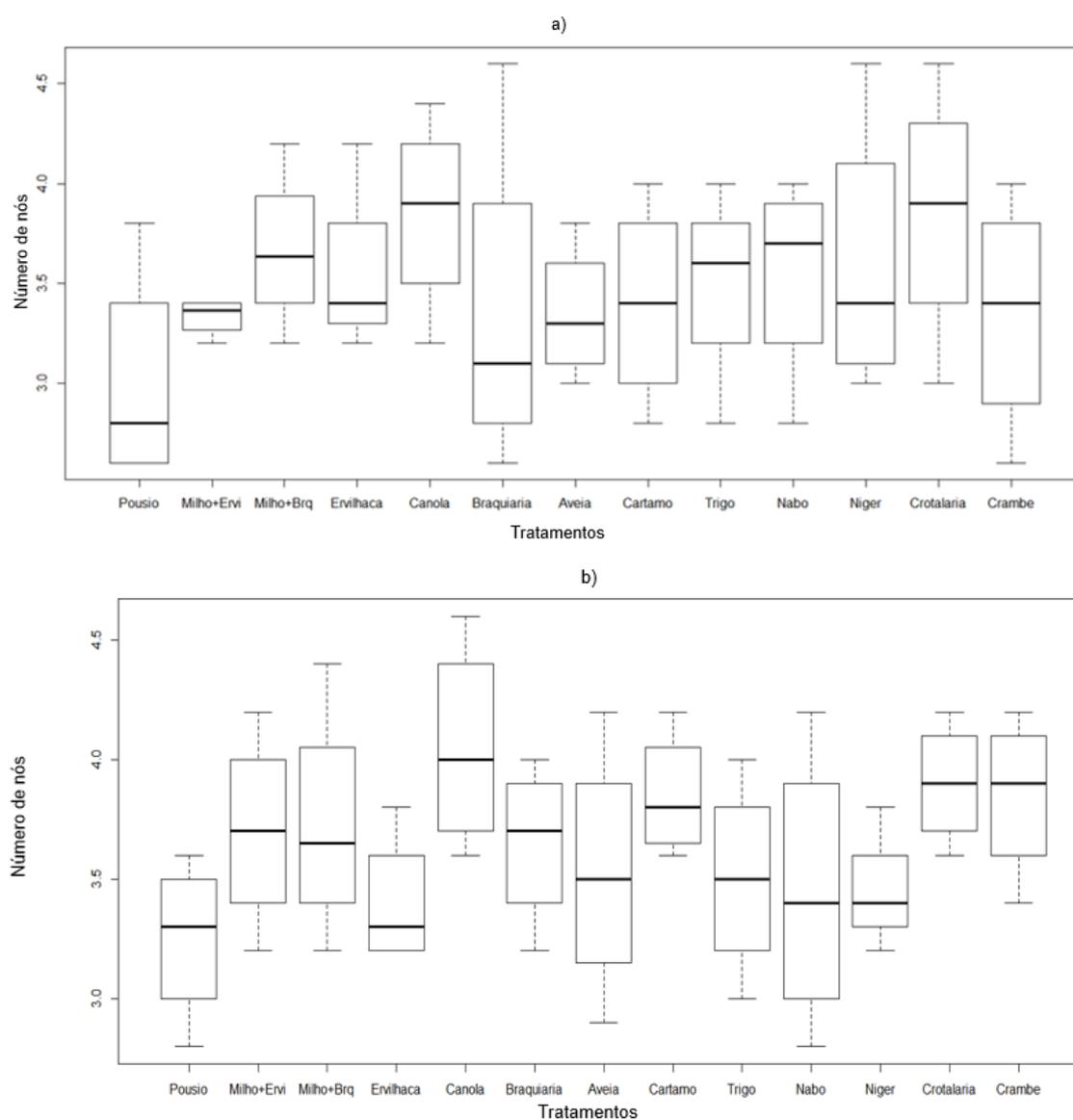


FIGURA 9B. Box-plot para representação gráfica da relação do número de nós por planta. (a) Safra 2015/16; (b) Safra 2016/17.

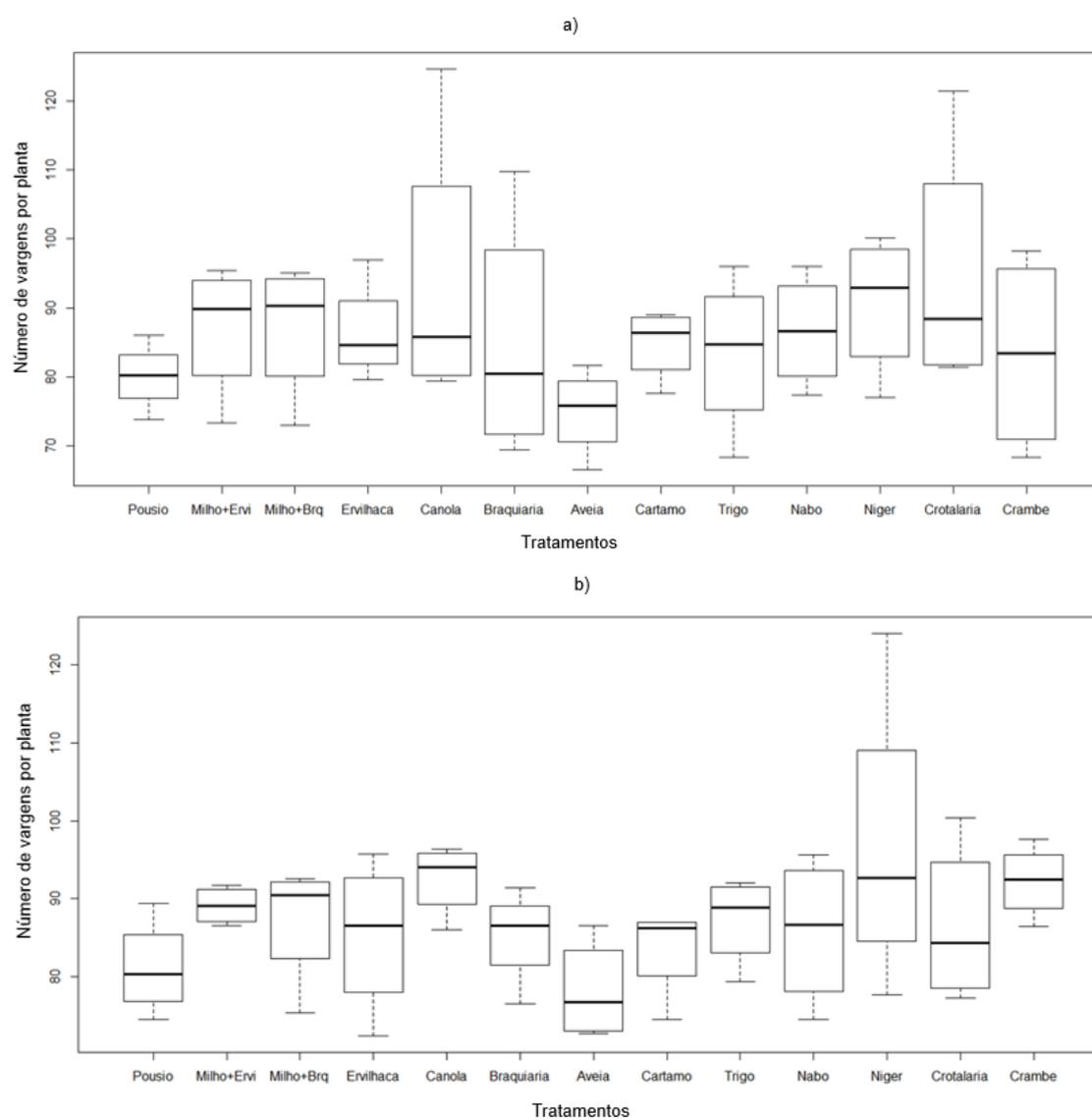


FIGURA 10B. Box-plot para representação gráfica da relação do número de vargens por planta. (a) Safra 2015/16; (b) Safra 2016/17.

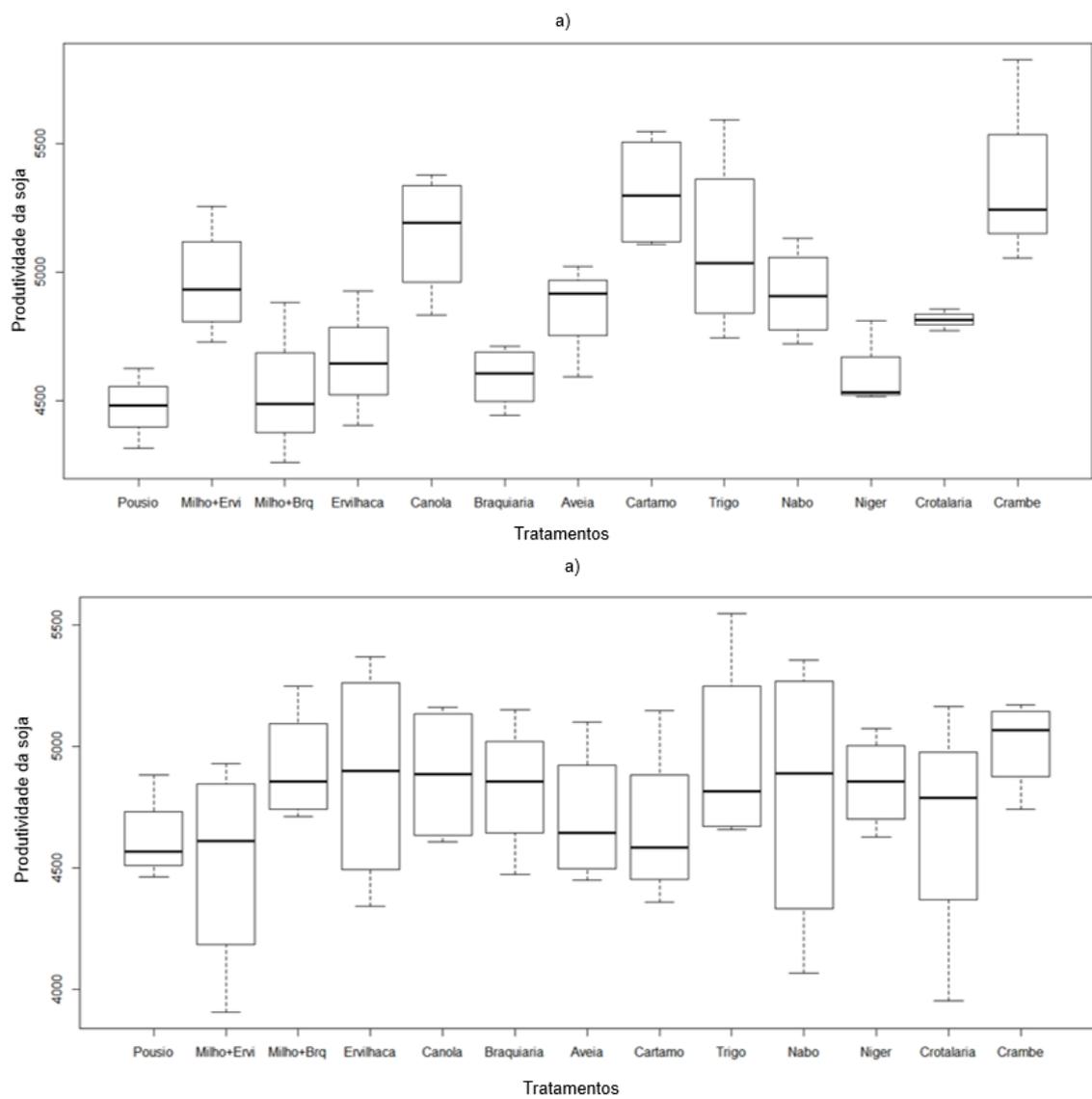


FIGURA 11B. Box-plot para representação gráfica da relação da produtividade da soja. (a) Safra 2015/16; (b) Safra 2016/17.

QUADRO 1B. Coordenadas das Variáveis dos Componentes Principais retidos no estudo para a profundidade de 0,0-0,10 m

	Dim.1	Dim.2	Dim.3	Dim.4	Dim.5
MA	0.7119200	-0.3020518	0.029205006	0.607951153	0.177417407
MI	0.6027092	0.7652679	0.089767960	-0.207334678	-0.007705891
PT	0.7793454	0.6178912	0.092084928	-0.005119953	0.048206613
Ds	0.2936540	-0.5793536	0.654206007	-0.319814531	0.218746073
RMSP	-0.5026169	0.3894456	0.663885226	0.316368950	-0.234255289
MOS	-0.7060922	0.5125060	0.007211384	0.072133162	0.483235054

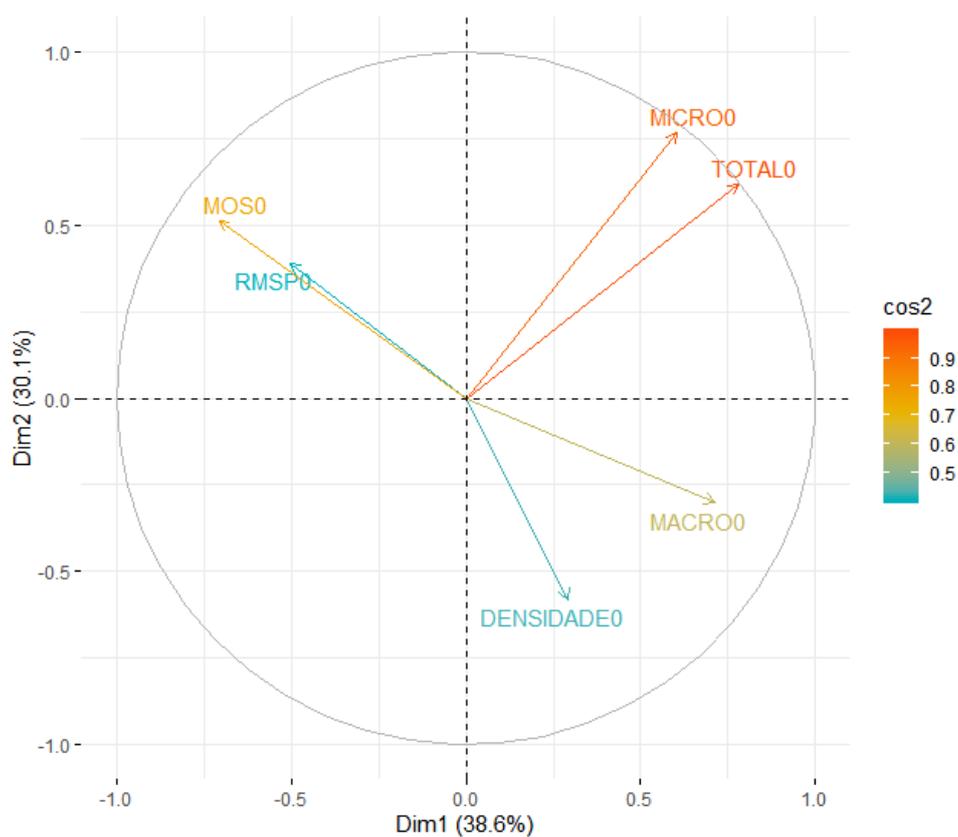


FIGURA 12B. Gráfico das Variáveis na Análise de Componentes Principais (ACP) para a profundidade de 0,0-0,10 m.

QUADRO 2B. Coordenadas das Variáveis dos Componentes Principais retidos no estudo para a profundidade de 0,10 a 0,20 m

	Dim.1	Dim.2	Dim.3	Dim.4	Dim.5
MA	0.6558216	0.002059546	0.63627647	0.38711847	0.12322844
MI	0.7057421	0.583836208	-0.35137539	-0.18981215	0.03962221
PT	0.8556646	0.506453984	-0.06722078	-0.02042127	0.08004104
Ds	-0.4607833	0.724408158	-0.11155285	0.45792631	-0.20191840
RMSP	-0.8530143	0.373914263	-0.06820050	0.04469720	0.35483166
MOS	-0.3532213	0.549213392	0.62669703	-0.41527414	-0.09163845

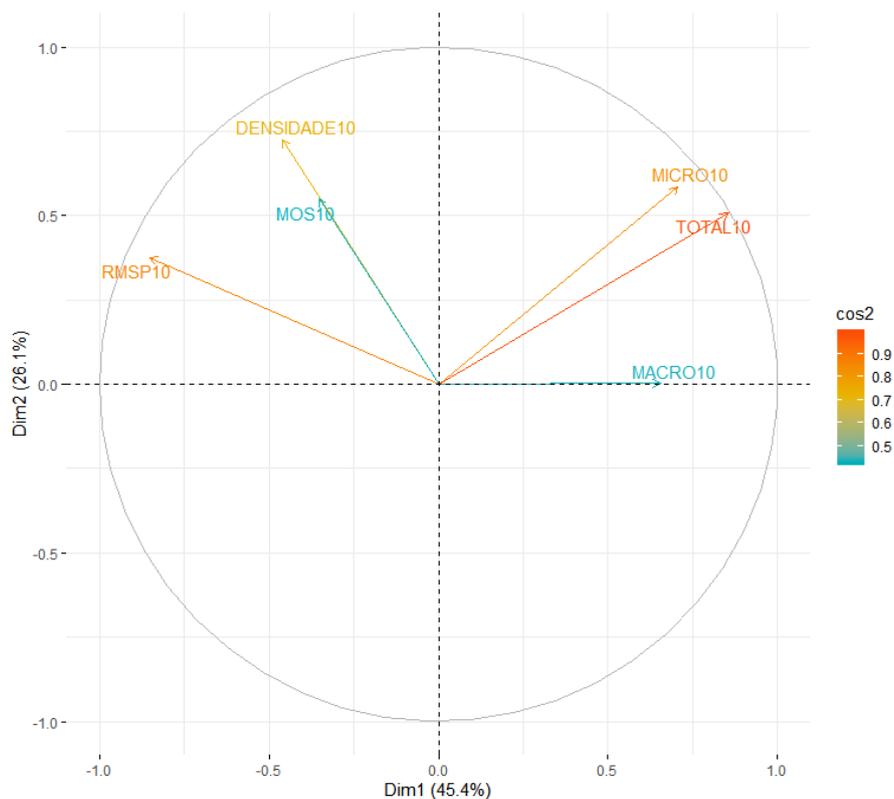


FIGURA 13B. Gráfico das Variáveis na Análise de Componentes Principais (ACP) para a profundidade de 0,10 a 0,20 m.

ANEXO A



Fonte: Google Earth (2019).

FIGURA 1C. Vista da área na Fazenda Experimental de Ciências Agrárias da UFGD.



Fonte: Google Earth (2019).

FIGURA 2C. Vista das unidades experimentais em que foi desenvolvido o experimento.