

UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS

**NÍVEIS DE COMPACTAÇÃO E SISTEMAS DE MANEJO NOS
ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO E NA EXPORTAÇÃO DE
NUTRIENTES PELA SOJA**

ANDRESSA CHAGAS

**DOURADOS
MATO GROSSO DO SUL
2021**

**NÍVEIS DE COMPACTAÇÃO E SISTEMAS DE MANEJO NOS
ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO E NA EXPORTAÇÃO DE
NUTRIENTES PELA SOJA**

ANDRESSA CHAGAS

Engenheira Agrônoma

Orientador: PROF. DR. CRISTIANO MARCIO ALVES DE SOUZA

Coorientadora: PROF^a. DR^a. ELISÂNGELA DUPAS

Dissertação apresentada à Universidade Federal da Grande Dourados, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, para obtenção do título de Mestre.

DOURADOS
MATO GROSSO DO SUL
2021

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP).

C433n Chagas, Andressa
NÍVEIS DE COMPACTAÇÃO E SISTEMAS DE MANEJO NOS ATRIBUTOS QUÍMICOS
DO SOLO E NA EXPORTAÇÃO DE NUTRIENTES PELA SOJA [recurso eletrônico] / Andressa
Chagas. -- 2021.
Arquivo em formato pdf.

Orientador: Cristiano Marcio Alves de Souza.
Coorientador: Elisângela Dupas.
Dissertação (Mestrado em Agronomia)-Universidade Federal da Grande Dourados, 2021.
Disponível no Repositório Institucional da UFGD em:
<https://portal.ufgd.edu.br/setor/biblioteca/repositorio>

1. Plantio Direto. 2. Preparo convencional. 3. Densidade do solo. I. Souza, Cristiano Marcio
Alves De. II. Dupas, Elisângela. 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.

**NÍVEIS DE COMPACTAÇÃO E SISTEMAS DE MANEJO NOS ATRIBUTOS
QUÍMICOS DO SOLO E NA EXPORTAÇÃO DE NUTRIENTES
PELA SOJA**

por

Andressa Chagas

Dissertação apresentada como parte dos requisitos exigidos para obtenção do título de
MESTRE EM AGRONOMIA

Aprovada em: 23 de agosto de 2021.



Prof. Dr. Cristiano Marcio Alves de Souza
Orientador – UFGD/FCA



Prof. Dr. Munir Mauad
UFGD/FCA



Dr. César José da Silva
EMBRAPA

*A Deus,
A minha família,
Aos meus familiares e todos que perderam a vida para a COVID-19,*

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Deus pela vida, por proporcionar a mim e todas as pessoas que amo saúde, por me proteger e guiar nesta jornada.

À Universidade Federal da Grande Dourados, ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia e todos os seus colaboradores. Em especial, aos professores que através do conhecimento repassado sempre estarão presentes em minha vida profissional.

Ao meu orientador Prof. Dr. Cristiano Marcio Alves de Souza, à coorientadora Prof^a. Dr^a. Elisângela Dupas, e ao Dr. Sálvio Napoleão Soares Arcoverde, pela orientação, paciência, conhecimentos compartilhados e todo apoio.

Ao meu amigo Dr. Mauricio Vicente Alves e à Universidade do Oeste de Santa Catarina (UNOESC – Xanxerê), pela colaboração e por cederem o Laboratório de Análise de Solos e Plantas para realização de minhas análises.

À minha família e amigos, pelo apoio e incentivo, especialmente aos meus pais.

Aos colegas de iniciação científica, voluntários, estudantes de graduação e Pós-graduação pelo auxílio nos trabalhos de campo e laboratório. Em especial a minha colega, Engenheira Agrônoma Thayná Mendes Machado, pela amizade e a parceria em todos os momentos.

Aos membros das bancas de qualificação e defesa pelas contribuições.

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1. Atributos físicos do solo sob preparo convencional para níveis de compactação, em duas camadas, Dourados-MS, 2019.....	14
QUADRO 2. Atributos físicos do solo sob plantio direto para níveis de compactação, em duas camadas, Dourados-MS, 2019.....	15
QUADRO 3. Classificação da concentração dos nutrientes P, K, N, Ca e Mg (g kg^{-1}) nos grãos de soja.....	17
QUADRO 4. Resumo da análise de variância dos atributos químicos pH, K, P, Ca, Mg, Al, MO e S do solo. Dourados-MS, 2021	19
QUADRO 5. Resumo da análise de variância dos atributos químicos P, K, N, Ca e Mg contidos nos grãos. Dourados-MS, 2021	27
QUADRO 6. Classes do teor de nutrientes contidos nos grãos (g kg^{-1}) obtidos nos dois sistemas de preparo do solo e níveis de compactação por comparação com o padrão Embrapa (2004)	33
QUADRO 7. Correlação entre os atributos químicos e físicos do solo, obtidos nos dois sistemas de manejo do solo. Dourados-MS, 2021	35

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. Dados meteorológicos mensais na região de Dourados, MS, durante o período de setembro de 2019 a fevereiro de 2020.....	11
FIGURA 2. Croqui da área experimental, Dourados, MS.....	12
FIGURA 3. Potencial hidrogeniônico (pH) do solo em função do nível de compactação, para os dois sistemas de preparo de solo: preparo convencional (PC) e semeadura direta (SD).	20
FIGURA 4. Concentração do elemento Fósforo (P) (mg dm^{-3}) no solo em função do número de passagens do trator.....	21
FIGURA 5. Concentração do elemento Potássio (K) no solo em função do número de passagens do trator.....	21
FIGURA 6. Concentração do elemento Cálcio (Ca) no solo em função do número de passagens do trator.....	23
FIGURA 7. Concentração do elemento Magnésio (Mg) no solo em função do número de passagens do trator.	23
FIGURA 8. Concentração do elemento enxofre (S) no solo em função do número de passagens do trator nas camadas de 0-10 cm e 10-20 cm.....	24
FIGURA 9. Presença de matéria orgânica (MO) no solo em função do número de passagens do trator.....	25
FIGURA 10. Concentração do elemento fósforo (P) em grãos de soja em função do número de passagens do trator.....	29
FIGURA 11. Concentração do elemento Potássio (K) em grãos de soja em função do número de passagens do trator.....	30
FIGURA 12. Concentração do elemento Nitrogênio (N) em grãos de soja em função do número de passagens do trator.....	31
FIGURA 13. Concentração do elemento Magnésio (Mg) em grãos de soja em função da interação dos fatores preparo do solo e níveis de compactação.	32

SUMÁRIO

	Página
RESUMO.....	x
ABSTRACT.....	xi
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	3
2.1 A cultura da Soja.....	3
2.2 Preparo do solo.....	4
2.3 Exportação de nutrientes pelas plantas em função da qualidade do solo.....	5
2.4 Aspectos físico-químicos do solo.....	7
2.5 Qualidade química do solo.....	8
2.6 Efeitos dos sistemas de preparo sobre as propriedades químicas do solo.....	9
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	11
3.1 Localização e caracterização da área experimental.....	11
3.2 Delineamento experimental.....	12
3.3 Insumos e equipamentos.....	12
3.4 Caracterização dos atributos físicos do solo após compactação.....	13
3.5 Atributos avaliados.....	15
3.5.1 Atributos químicos do solo.....	15
3.5.2 Análise nutricional dos grãos.....	16
3.6 Análise estatística dos dados.....	17
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	18
4.1 Atributos químicos do solo.....	18
4.1.1 Potencial hidrogeniônico (pH).....	18
4.1.2 Fósforo (P) e Potássio (K).....	21
4.1.3 Cálcio (Ca) e Magnésio (Mg).....	22
4.1.4 Enxofre (S).....	24
4.1.5 Matéria Orgânica (MO).....	25
4.1.6 Interpretação dos atributos químicos do solo.....	26
4.2 Teores de nutrientes nos grãos.....	27
4.2.1 Interferência da compactação nos teores de P e K nos grãos.....	29
4.2.2 Interferência da compactação nos teores de N dos grãos.....	31
4.2.3 Interferência da compactação nos teores de Ca e Mg nos grãos.....	32
4.2.4 Comparação entre os teores de nutricionais presentes nos grãos e o padrão.....	32
4.3 Aspectos Gerais.....	33
4.3 Correlação de Pearson.....	34
5 CONCLUSÕES.....	37
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	38

CHAGAS, Andressa. **Níveis de compactação e sistemas de cultivo nos atributos químicos do solo e na exportação de nutrientes pela soja.** 2021. 46f. Dissertação (Mestrado em Agronomia), Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados.

RESUMO

A soja é uma das principais culturas cultivadas no mundo, devido ao seu potencial de cultivo em diversas regiões. Sabe-se que a estrutura do solo, influencia a física do mesmo, como evidenciado em diversos estudos já publicados. Entretanto, também tem grande influência em seus aspectos químicos, como na ciclagem de carbono e nutrientes, dentre outros fatores determinantes para o adequado desenvolvimento das plantas. Sendo assim, considerando a importância da conservação do solo, com consequente melhoria da fertilidade e incremento na produtividade das culturas, o objetivo deste estudo foi avaliar o efeito ocasional de níveis de compactação e sistemas de cultivo nos atributos químicos do solo e na exportação de nutrientes pela soja. O experimento foi realizado na Fazenda Cedro, localizada no município de Dourados, MS. O solo da área caracteriza-se como Latossolo Vermelho Distroférico, de textura argilosa. O delineamento experimental foi em blocos casualizados, em parcelas subdivididas (2x4), constituídos por dois sistemas de preparo do solo (Semeadura direta - SSD e Preparo Convencional - SPC) e quatro níveis de compactação por passagens pelos rodados do trator (zero, 3, 6 e 9 passagens), com quatro repetições. Para caracterização da área experimental foram inicialmente avaliados os atributos físicos do solo. Antes da colheita da soja foram coletadas amostras para análise química do solo, retirando-se uma amostra de 0-10 e 10-20 cm de profundidade de cada unidade experimental, totalizando 64 amostras de solo, para posterior determinação dos valores nutricionais. No momento da colheita foram retiradas amostras de grãos em cada unidade experimental, totalizando 32 amostras para análise nutricional, determinando-se os macronutrientes. Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância, pelo teste F, e as médias ao teste de Tukey, a 5% de probabilidade. Para avaliar a correlação entre atributos químicos do solo com os atributos físicos do solo foi utilizada a análise de correlação de Pearson. A concentração de P aumenta até 6 passagens. Os teores de Ca e Mg no solo aumentam a partir de 3 passagens, enquanto os teores de K e MO, apresentam concentrações mais elevadas com maior compactação. O maior teor de S foi observado na camada subsuperficial até 4 passagens. A compactação do solo reduz a exportação de P e Mg, sendo este também prejudicado pelos sistemas de cultivo. Maiores níveis de compactação favorecem a concentração de K e N nos grãos de soja. O Ca não sofre interferência da compactação tampouco dos sistemas de cultivo. O crescimento, os componentes de produção e a produtividade da soja não são influenciados pelos sistemas de preparo do solo, enquanto ao aumentar o nível de compactação reduz a produtividade.

Palavras-chave: plantio direto, preparo convencional, densidade do solo.

CHAGAS, Andressa. **Compaction levels and cultivation systems on soil chemical attributes and nutrient exports by soybeans.** 2021. 46f. Master Dissertation (Master in Agronomy), Federal University of Grande Dourados, Dourados, Brazil.

ABSTRACT

Soybean is one of the main crops grown globally due to its potential for cultivation in different regions. It is known that the soil structure influences its physics, as evidenced in several published studies. However, it also has a significant influence on its chemical aspects, such as the cycling of carbon and nutrients, among other determining factors for the proper development of plants. Therefore, considering the importance of soil conservation, with consequent improvement in fertility and increase in crop productivity, the objective of this study was to evaluate the occasional effect of compaction levels and cropping systems on the chemical attributes of the soil and the export of nutrients by soybeans. The experiment was carried out at Fazenda Cedro, located in the city of Dourados, MS. The soil in the area is characterized as Latossolo Vermelho Distroférico, with a clayey texture. The experimental design was in randomized blocks, in split plots (2x4), consisting of two soil tillage systems (No-tillage and Conventional tillage) and four levels of compaction per pass through the tractor wheels (zero, 3, 6 and 9 strides), with four repetitions. The physical attributes of the soil were initially evaluated to characterize the experimental area. Before the soybean harvest, samples were collected for chemical analysis of the soil, taking a 0-10 and 10-20 cm deep sample from each experimental unit, totaling 64 soil samples, for later determination of nutritional values. Grain samples were taken from each experimental unit at harvest time, totaling 32 samples for nutritional analysis, determining the macronutrients. The data obtained were submitted to analysis of variance, using the F test and the means using the Tukey test, at 5% probability. To evaluate the correlation between the chemical attributes of the soil with the physical attributes, Pearson's correlation analysis was used. The P concentration increases up to 6 passes. The contents of Ca and Mg in the soil increase after 3 passes, while the contents of K and MO show higher concentrations with greater compaction. The highest content of S was observed in the subsurface layer up to 4 passes. Soil compaction reduces P and Mg export, which is also harmed by cropping systems. Higher levels of compaction favor the concentration of K and N in soybeans. Ca is not affected by compaction or cropping systems. Soybean growth, production components, and yield are not influenced by soil tillage systems while increasing the level of compaction reduces yield.

Keywords: no-tillage, conventional tillage, soil density.

1 INTRODUÇÃO

A soja (*Glycinemax* L.) é uma das principais culturas cultivadas no mundo, tendo um papel socioeconômico e no agronegócio brasileiro muito importante, devido ao seu potencial de cultivo em diversas regiões. A cultura é matéria-prima indispensável, que impulsiona diversos complexos agroindustriais, desde a indústria de sementes até a de máquinas agrícolas. Essa cultura é semeada nas mais diversas regiões do Brasil tanto em sistemas conservacionistas com o uso de arado e grade, como em sistemas conservacionistas com o plantio direto.

No sistema de plantio convencional (SPC), o uso de aração e gradagens sucessivas provocam alterações no solo, principalmente em sua estrutura física. Devido ao tráfego intenso de máquinas e implementos, a compactação nas áreas de cultivo é comum. Em consequência há o aumento da densidade do solo, resistência à penetração e diminuição da macroporosidade, afetando de modo geral sua qualidade para cultivo. Neste contexto, a implantação de práticas conservacionistas como o sistema plantio direto (SPD), pode ser uma alternativa para amenizar tais danos (REICHERT et al., 2007).

O SPD é caracterizado pela ausência de revolvimento, o uso de plantas de cobertura e rotação de culturas, deixando o solo protegido, por manter os resíduos vegetais. Desta forma, diminui-se a erosão, aumenta a ciclagem de nutrientes e a atividade biológica, observando-se maiores conteúdos de matéria orgânica, nutrientes e água armazenada no solo. Por outro lado, o SPC ocasiona degradação e perda do potencial produtivo (CERETTA et al., 2002; MEURER, 2015).

Avaliar o desempenho das culturas em diferentes sistemas de preparo do solo possibilita verificar os efeitos destes em longo prazo, na produtividade e qualidade da soja, além de possível aumento e longevidade das áreas de cultivo, o ganho em produtividade e o ganho econômico, além da preservação do solo, constituinte fundamental da natureza (ARCOVERDE et al., 2019a).

Trabalhos neste sentido vêm sendo desenvolvidos com foco principal no desenvolvimento inicial da cultura e na física do solo. Entretanto, sabe-se que a estrutura do solo também tem grande influência em seus aspectos químicos, como na ciclagem de carbono e nutrientes, dentre outros fatores determinantes para o adequado desenvolvimento das plantas (SALTON et al., 2008).

As interações entre a física e a química do solo influenciam a absorção de nutrientes pelas plantas e podem provocar alterações na produtividade. Sob intensa compactação, os solos têm a macroporosidade e porosidade total reduzida, alterando a aeração, fluxo de água e sistema radicular das culturas. Também promove maior contato dos elementos com partículas sólidas, o que altera seu transporte até a planta. (BERGAMIN et al., 2010; ZAMBRANA et al., 2010; VALADÃO et al., 2015).

Desta forma a absorção dos elementos pode alterar para mais ou para menos, dependendo de algumas condições como espécie, cultivar, tipo de solo, condições do ambiente e do próprio elemento (ALVES et al., 2003; SILVA et al., 2008; CABRAL et al., 2012; SOUZA et al., 2012).

Ressalta-se que, tanto o SPC, devido às operações sucessivas com mobilização do solo, quanto o SPD, em razão do não revolvimento do solo, ocasionam estados de compactação. Associado ao tipo de preparo do solo está o aumento do tráfego de máquinas em áreas cultivadas que também acarreta degradação estrutural do solo. Dessa forma, é importante conhecer os efeitos ocasionais destes fatores, em conjunto, sobre a qualidade química do solo, bem como sobre a cultura no campo.

Considerando a importância da conservação do solo, com consequente melhoria da fertilidade e incremento na produtividade das culturas, o objetivo deste estudo foi avaliar o efeito ocasional de níveis de compactação e sistemas de cultivo nos atributos químicos do solo e na exportação de nutrientes pela soja.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 A cultura da Soja

A soja, *Glycine max* (L.), é um dos principais cultivos da agricultura mundial e brasileira por sua composição química e valor nutritivo e por possuir grande potencial produtivo, podendo ser utilizada para alimentação humana e animal, tendo relevante papel socioeconômico. Além disso, é matéria-prima indispensável que impulsiona diversos complexos agroindustriais (MAUAD et al., 2010).

A safra 2020/21, a área estimada com soja foi de 38,5 milhões de hectares, com produção de 129 milhões de toneladas e rendimento médio de 3.350 kg ha⁻¹. O estímulo para incremento de área cultivada é devido à rentabilidade para os agricultores na comercialização do grão e aos custos de produção menores no Brasil, com preços domésticos mais elevados, (USDA, 2020), além da mudança de hábito alimentar da China com a introdução de proteína animal em sua dieta alimentar (ESCHER e WILKINSON, 2019).

A soja foi um marco no desenvolvimento agroindustrial do Brasil. Antes da cultura, havia a agricultura de subsistência e depois a agricultura empresarial, sendo um fator importante no desenvolvimento econômico e social do Brasil. Em 1970, a produção de soja era 1,5 milhões de toneladas e em 2015, passou para 95,6 milhões de toneladas, o que determinou uma cadeia de mudanças sem precedentes no setor agrícola brasileiro. A cultura impulsionou e descentralizou a agroindústria nacional, promovendo a expansão igualmente alcançada pela produção de carnes (DALL'AGNOL, 2016).

Na década de 1980, a cultura foi introduzida na região do Cerrado, em Minas Gerais, Triângulo Mineiro, Mato Grosso do Sul, Mato Grosso, Goiás, Tocantins, sul do Maranhão, sul do Piauí e oeste da Bahia. O Cerrado tornou-se a maior região produtora do país, devido às condições físicas favoráveis dos solos, aos estudos de fertilidade dos solos da região, regime de chuvas, topografia favorável ao uso máquinas, baixo valor das terras e desenvolvimento de plantas mais adaptadas a região (CISOJA, 2009).

Como reflexo, atualmente, o valor das exportações brasileiras do complexo agroindustrial da soja, especialmente de grãos, tem sido quase tão representativo quanto o PIB de toda a sua cadeia produtiva. Ou seja, a cultura da soja tem sido tão importante na geração de divisas quanto no desenvolvimento da economia de suas regiões produtoras (CATTELAN e DALL'AGNOL, 2018).

2.2 Preparo do solo

Para tornar as condições do solo favoráveis à germinação e crescimento radicular das culturas, são realizadas operações de preparo do solo. Neste processo, a umidade, o teor de argila e de matéria orgânica, o implemento utilizado e profundidade de mobilização, podem causar modificações na estrutura do solo, que restringem o crescimento das raízes (DE MARIA et al., 1999).

Em áreas com SPC, onde são feitos os processos de aração e gradagens, é comum a formação de camadas compactadas na superfície, decorrentes da pressão exercida pelas rodas do trator, sobre a camada não cortada pelos implementos e, pelo elemento cortante, que exerce pressão na área de contato. Quando utilizados implementos como hastes, presentes em arados escarificadores, não se observa compactação. Portanto, solos preparados com este tipo de equipamento apresentam valores de resistência a penetração e densidade do solo menor, comparando com outros sistemas (DERPSCH et al., 1986).

Atualmente procura-se pelo desenvolvimento de tecnologias, voltadas especialmente a equipamento para aumentar o desempenho de máquinas. Entretanto, pouco se busca por qualidade nas operações agrícolas, visando à conservação dos recursos naturais. A mecanização agrícola é parte do desenvolvimento rural, mas sua introdução sem adaptações prévias aos diferentes tipos de solo ocasiona degradação rápida e contínua do mesmo (FURLANI, 2000, REIS et al., 2007).

O sistema de semeadura direta desenvolveu-se para contrapor os sistemas de preparo com revolvimento completo do solo, fazendo a mobilização apenas na linha de semeadura e mantendo os restos culturais sobre a superfície. A soja é uma das culturas que melhor se adapta ao SPD (KLUTHCOUSKI e STONE, 2003).

Podem-se observar diversos benefícios resultantes desta prática de manejo, como diminuição considerável da erosão, aumento no teor de matéria orgânica no solo e economia de combustível nas operações. Entretanto, o não revolvimento pode levar a formação de camadas superficiais compactadas, aumentando a densidade e reduzindo a porosidade total do solo (SIDIRAS et al., 1982).

A definição da produtividade da soja se dá pela interação da planta com o ambiente e o manejo. Quando as condições são favoráveis em todos os estádios de desenvolvimento da planta, altos rendimentos serão obtidos. Os estudos sobre o manejo

dos solos são o que tornam possível aumentar o rendimento desta cultura (GILIOLI et al., 1995).

A grande maioria dos solos brasileiros caracteriza-se por apresentar a maior parte dos nutrientes em sua camada superficial e por serem altamente dependentes da matéria orgânica. Esta camada, é facilmente degrada pelas operações de preparo que o solo é submetido. A matéria orgânica é direta ou indiretamente, o principal agente de estrutura, exercendo grande influência na capacidade de troca de cátions, principalmente em solos arenosos. Com o cultivo extensivo, problemas como pulverização do solo, redução nos teores de MO e nutrientes, maior susceptibilidade dos solos à compactação e à erosão, começam a surgir (TORRES et al., 1993).

No plantio da soja, é necessário que cada operação seja feita com os implementos adequados, priorizando o preparo com o mínimo revolvimento possível, o que não implica necessariamente na diminuição da profundidade de trabalho, mas em reduzir o número de operações (EMBRAPA, 2011).

Conforme descrito pela Embrapa (2011), o preparo primário deve atingir profundidade adequada segundo o próprio equipamento utilizado. O preparo secundário, quando necessário, deve ser feito próximo à época de semeadura. As semeadoras devem ser equipadas com disco duplo para colocação da semente e roda reguladora de profundidade. Quando usado arado e/ou grade, levar em consideração a umidade ideal para cada tipo de solo.

2.3 Exportação de nutrientes pelas plantas em função da qualidade do solo

As propriedades e processos do solo influenciados pela compactação, levam ao aumento da resistência mecânica através da destruição da continuidade dos poros e alteração do fluxo de água e calor. Assim, a compactação afeta o crescimento das plantas e disponibilidade dos nutrientes. Isso ocorre na medida em que há interferência nos mecanismos de fluxo de massa e difusão, que transportam os nutrientes até as raízes, uma vez que estes dependem da estrutura do solo (ALVARENGA et al., 1997).

O crescimento radicular fica comprometido, o que reduz significativamente a absorção de nutrientes, principalmente, daqueles menos móveis como o P, especialmente em solos onde este se encontra em menor quantidade. Existe a tendência de redução no crescimento das plantas e na absorção de nutrientes, entretanto, esta é

uma resposta que também depende de outros fatores, como tipo de plantas, condições físicas, químicas e biológicas do solo (ALVARENGA et al., 1997).

Em solos muito compactados, também há maior contato dos elementos químicos com as partículas sólidas, o que altera o transporte deles até a planta. Assim, pode ocorrer maior ou menor absorção de elementos essenciais (SILVA et al., 2008).

Na presença de compactação, em virtude da redução da macroporosidade total do solo e aumento da resistência a penetração, há uma diminuição da taxa de infiltração de água que afeta diretamente o contato dos íons com as raízes. Desta forma, nutrientes absorvidos por fluxo de massa, como N, Ca e Mg e os absorvidos por difusão, como o P, podem ser absorvidos em menor quantidade pelas plantas (ALVES et al., 2003; CABRAL et al., 2012; VALADÃO et al., 2017).

A formação da camada compactada, principalmente devido ao uso de máquinas e implementos agrícolas em excesso, reduz a porosidade do solo, a continuidade dos poros, bem como a disponibilidade de água e nutrientes, o que leva a redução do crescimento e desenvolvimento radicular das culturas (BORGES et al., 1986, 1987; FOLONI et al., 2003; FREDDI et al., 2007).

Os efeitos da compactação no crescimento radicular vêm sendo relatados em diversas culturas e ocorre devido às modificações morfológicas, como a diminuição da divisão celular no meristema e aumento do diâmetro da raiz. Desta forma, o volume de solo para exploração das raízes diminui, afetando diretamente na absorção de nutrientes e água, que também decrescem (BORGES et al., 1986, 1987; FOLONI et al., 2003; FREDDI et al., 2007).

As respostas a adubação têm sido menores nos solos com algum comprometimento em suas propriedades físicas. O aumento da densidade faz com que ocorra maior adsorção de P e redução em seu fluxo difusivo (RIBEIRO et al., 2010). A compactação também resulta no aumento da viscosidade da água e na interação de íons de fosfato com a superfície dos colóides durante a difusão. Assim, seriam necessárias doses maiores deste elemento, para aumentar a saturação por fosfato nas superfícies adsorventes.

Em trabalhos de pesquisa, diferentes resultados são encontrados quanto à absorção de nutrientes em solos compactados. Esta condição, afeta negativamente a nodulação da soja, o que diminui o teor de N na parte aérea da cultura (BORGES et al., 1998).

Cabral et al. (2012), verificaram que o N é o elemento mais limitado pela compactação do solo, estudando a absorção de N, P e K pelos capins Mombaça e piatã. No milho, Miransari et al. (2009) concluíram ser necessário utilizar micorrizas para atenuar as limitações nutricionais causadas pela compactação.

Em condições anaeróbicas, as raízes de soja apresentam mudanças anatômico-morfológicas para se adaptarem ao ambiente de hipoxia, o que reduz os teores de nutrientes nas folhas em até 11,6% (PIRES et al., 2002).

2.4 Aspectos físico-químicos do solo

A qualidade do solo está relacionada com seus atributos físicos e químicos. Dentre os principais atributos físicos, podem se citar textura, densidade de partícula, densidade e porosidade do solo (SILVA et al., 2015). Com relação aos atributos químicos, alguns de maior relevância são matéria orgânica, pH, capacidade de troca de cátions, soma de bases, potássio, cálcio, saturação de bases e fósforo (RICHART et al., 2016).

O SPC aliado ao tráfego de máquinas durante o ciclo de produção têm ocasionado estados de compactação do solo e, conseqüentemente, aumento da resistência à penetração, redução da porosidade total e macroporosidade (ARCOVERDE et al., 2019b).

Quando há revolvimento do solo pelo seu preparo mecânico, ocorre a exposição do mesmo a ações do ambiente como temperatura, vento, sol, chuva, oxigênio e outros. Todos estes fatores provocam degradação do solo, tornando-o também pobre quimicamente devido a perdas indesejáveis de carbono orgânico e água, o que resulta no aumento da mineralização de matéria orgânica e desagregação (SANTIAGO et al., 2008; MORAES et al., 2016).

A compactação é termo que se refere ao processo de decréscimo de volume de solos não saturado quando uma pressão é aplicada, podendo ser esta proveniente do tráfego de máquinas agrícolas, equipamentos e animais. É definida como uma alteração no arranjo das partículas que constituem o solo (CAMARGO e ALLEONI, 1997; LIMA, 2004).

Os estudos do processo de compactação apontam que diferentes classes de solo apresentam comportamentos diferentes quando submetidos a este processo, devido a fatores como energia de compactação, textura, teor de matéria orgânica, umidade,

história de tensão dos processos pedogenéticos e manejos do solo empregados no passado (DIAS JUNIOR e PIERCE, 1996; EKWUE e STONE, 1995).

A textura é um dos fatores que mais influencia o processo de compactação. Quando é aplicada uma pressão externa por máquinas, por exemplo, ocorre um novo arranjo das partículas, que diminui o espaço aéreo do solo e incrementa a densidade e a resistência à penetração. Em consequência, ocorre aumento da compactação. A resistência e resiliência do solo dependem da textura e mineralogia (SOANE, 1986).

2.5 Qualidade química do solo

Todas as práticas de manejo e conservação do solo e da água devem ser planejadas e executadas de maneira que se mantenha ou melhore seus atributos. Deve-se buscar aumento da capacidade do solo para sustentação da produtividade, sem comprometer a qualidade da água (ARAÚJO et al., 2007).

Em estudos agronômicos e ambientais, os indicadores de qualidade química do solo são classificados em quatro classes, sendo estas: a) aquelas que indicam os processos do solo ou de comportamento (pH, Carbono Orgânico); b) que indicam a capacidade do solo de resistir à troca de cátions, como o tipo de argila; c) indicam as necessidades nutricionais das plantas, sendo estes os macro e micronutrientes; d) indicam contaminação e/ou poluição, como nos casos de metais pesados, nitrato, fosfato, dentre outros (GOMES e FILIZOLA, 2006).

De acordo com Doran e Parkin (1994), são indicadores químicos de qualidade do solo, os teores de C e N orgânico total, pH, condutividade elétrica, teores de N mineral, P, K, C e N da biomassa microbiana e N potencialmente mineralizável. Entretanto, para um diagnóstico preciso do solo, deve-se avaliar juntamente com os indicadores físicos e biológicos.

De acordo com Vezzani e Mielniczuck (2009), a produtividade é a expressão final da qualidade, uma vez que altas produtividades só ocorrem quando os atributos do solo estão em boas condições.

2.6 Efeitos dos sistemas de preparo sobre as propriedades químicas do solo

As práticas agrícolas interferem na variabilidade espacial e temporal dos atributos físicos, químicos e biológicos do solo, influenciando no manejo e desenvolvimento das culturas. O manejo empregado afeta as propriedades do solo, principalmente nas camadas superficiais. Conhecer esta variação é de fundamental importância para o levantamento e classificação do solo, avaliação da fertilidade e formas de amostragem mais adequadas (MELLO et al., 2006; SOUZA et al., 1997).

Os implementos usualmente utilizados na produção agrícola trabalham de maneira própria no solo, alterando de diferentes formas as propriedades químicas, físicas e biológicas do solo. A intensidade com que ocorre o revolvimento do solo e incorporação de resíduos, modificam os teores de matéria orgânica (MO), a capacidade de troca de cátions (CTC), o pH e a dinâmica dos íons e agregação do solo (FALLEIRO et al., 2003; SÁ, 1998).

Estudos evidenciam que a adoção de sistemas conservacionistas, como o SPD, contribui para melhoria dos atributos do solo à medida que os cultivos se sucedem. Principalmente, devido à cobertura de plantas vivas e mortas, que reduzem a erosão, minimizando perdas de água, solo e nutrientes, promovendo acúmulo de matéria orgânica na superfície e redução de gases. Portanto, o conhecimento dos danos provocados pelos diferentes sistemas de manejo é de suma importância para melhorar as qualidades físico-químicas do solo (FAVARATO et al., 2015; OLIVEIRA et al., 2015; SANTOS et al., 2017; COLOMBO et al., 2017).

Os diferentes sistemas de preparo provocam alterações edáficas, tornando necessária a realização de ajustes no manejo das culturas e na recomendação de adubação de calagem. Estas modificações são feitas de acordo com as características de cada região, manejo adotado, rotação de culturas, clima e solo (SÁ, 1998).

Em solos mal preparados, ocorre uma interação entre acamada compactada e, a aeração, resultando em deficiência ou excesso de água, extremos de temperatura baixa ou alta e deficiência de oxigênio. Como consequência, o crescimento radicular é dificultado, favorecendo também o desenvolvimento de doenças e pragas. Um exemplo é a podridão preta (*Macrophomina phaseolina*), mais incidente em soja cultivada em regiões de solo compactado (TORRES et al. 1993).

Ainda segundo Torres et al. (1993), a compactação reduz a atividade microbiana do solo e provoca toxicidade de elemento como Fe e Mn, que em condições

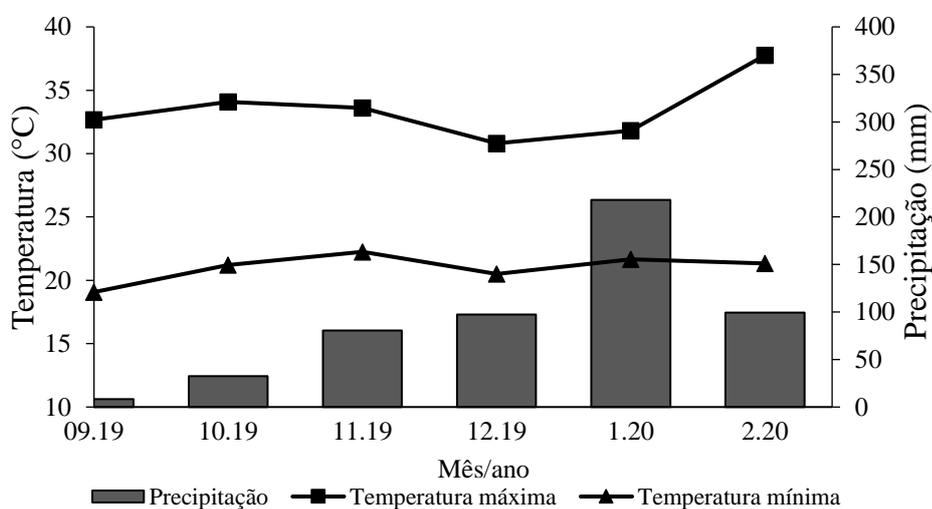
de solos pouco permeáveis e excessivamente úmidos, podem ser reduzidos e absorvidos em quantidades tóxicas.

Sabe-se que a aeração afeta a absorção de água e nutrientes pelas plantas, por serem processos influenciados pela intensidade de respiração radicular, já que para isto é necessário consumo de energia. Portanto, há indícios de que parte da energia da respiração das raízes é utilizada para absorção de nutrientes e água.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização e caracterização da área experimental

O experimento foi realizado durante a safra 2019/2020 na Fazenda Cedro, localizada no município de Dourados, MS. O local situa-se na latitude 22°16'21", longitude 54°55'55" e altitude de 434 m. O clima da região é do tipo Cwa, temperado e úmido com inverno seco, precipitação média anual de 1500 mm, e temperatura média anual de 22°C segundo a classificação de Köppen (FIETZ et al., 2017). Os dados meteorológicos mensais, referentes à precipitação acumulada e à temperatura média (mínima e máxima), obtidos durante o cultivo de soja na região de Dourados-MS, durante o período de setembro de 2019 a fevereiro de 2020, constam na Figura 1.



Fonte: CEMTEC (2021).

FIGURA 1. Dados meteorológicos mensais na região de Dourados, MS, durante o período de setembro de 2019 a fevereiro de 2020.

O solo da área experimental foi classificado como Latossolo Vermelho Distrófico, de textura argilosa (SANTOS et al., 2018). Antes da implantação do experimento foi realizada análise do solo na camada de 0-20 segundo metodologia descrita por Silva et al (2018) o qual apresentou as seguintes características química e granulométrica 6,0 para o pH em água, teores de Ca^{+2} , Mg^{+2} , Al^{+3} e K^{+} de 7,1; 2,9; 0,0; e 0,35 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$, respectivamente, 4,1 mg dm^{-3} de P, V% de 64% e MO de 37 g dm^{-3} . A granulometria é composta por 56% de argila, 18,7% de silte e 25,3% de areia. A área há mais de cinco anos é cultivada com soja (*Glycine max*) no verão e milho (*Zea mays*) na segunda safra em sucessão.

3.2 Delineamento experimental

O delineamento experimental foi em blocos casualizados, em parcelas subdivididas (2x4), sendo as parcelas constituídas por dois sistemas de preparo do solo (SPC e SSD) e as subparcelas por quatro níveis de compactação (zero, três, seis e nove passagens de trator), com quatro repetições, totalizando 32 unidades experimentais. Cada parcela média 4 m de comprimento e 5 m de largura, com área total de 20 m², conforme consta na Figura 2.

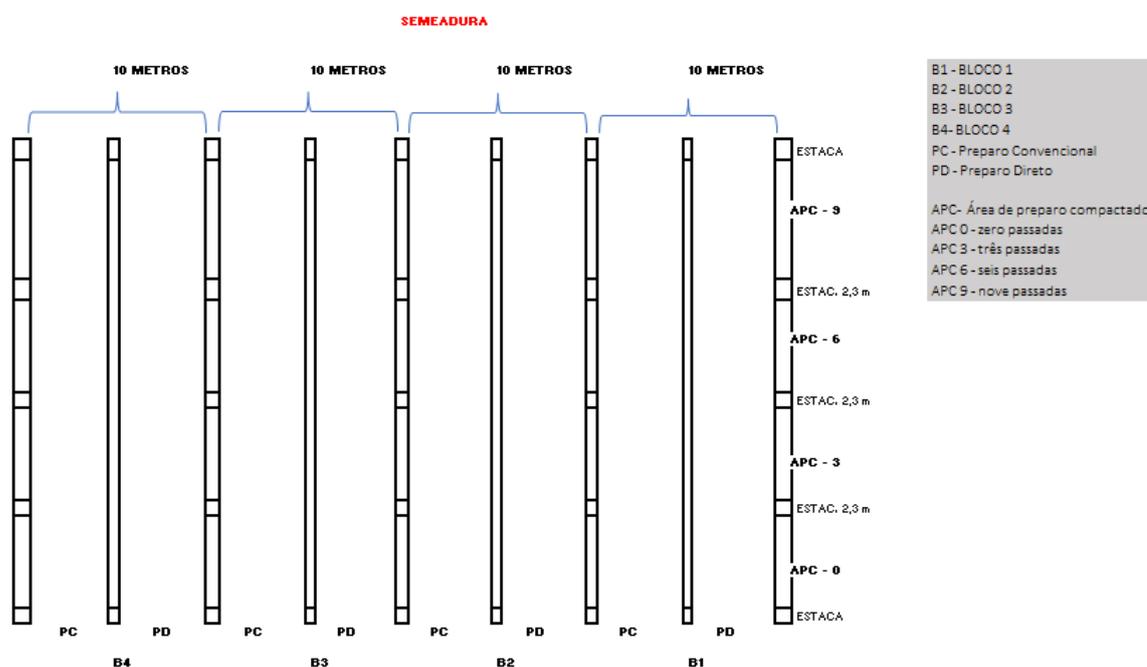


FIGURA 2. Croqui da área experimental, Dourados, MS.

3.3 Insumos e equipamentos

Previamente à compactação e à sementeira no solo sob SPC, quando os valores de umidade estavam próximos da faixa friável, foi realizado o revolvimento do solo com grade intermediária de 28 discos de 28", marca TATU e modelo GAICR, contendo massa de aproximadamente 2,86 Mg, na profundidade de trabalho equivalendo a 150 mm.

No dia 28 de setembro de 2019, para indução dos níveis de compactação, com umidade do solo próximo a capacidade de campo (0,28 kg kg⁻¹ na camada de 0-20 cm de profundidade, em ambos os preparos), foi utilizado trator agrícola modelo NH T7.175, de potência no motor 144 cv, com pneus radiais, bitola traseira de 2,94 m, bitola dianteira de 1,94 m, massa de 4,51 Mg, pressão de inflação 83 kPa nos pneus dianteiros

(14.9-26 8 PR R2) e 83 kPa nos traseiros (18.4-38 R2), sendo 40% da massa distribuídos no eixo dianteiro e 60% no eixo traseiro.

O deslocamento foi realizado na 3ª marcha reduzida, com rotação de 1.500 rpm e velocidade de 5,3 km h⁻¹. O trator percorreu toda a superfície da parcela, fazendo com que os pneus comprimissem áreas paralelas entre si, sendo o número de passagens correspondente ao nível de compactação. O tráfego foi sobreposto ao anterior, para que toda área de cada parcela fosse trafegada com número igual de vezes, conforme descrito em Valicheski et al. (2012), Valadão et al. (2015) e Valadão et al. (2017).

A cultivar de soja utilizada foi a Monsoy 6410 IPRO, recomendada para a região de Dourados, MS, que apresenta ciclo precoce, alta estabilidade, excelente sanidade foliar, ampla adaptação geográfica, resistência ao acamamento e hábito de crescimento indeterminado (BAYER, 2020).

A semeadura da soja foi realizada no mesmo dia da compactação (28 de setembro de 2019), com semeadora-adubadora de dez linhas, espaçamento entre linhas de 0,50 m e densidade de semeadura de 12 sementes viáveis por metro. As sementes foram tratadas com produto de nome comercial Standak Top. No sulco de semeadura houve aplicação de 300 kg ha⁻¹ de adubo na formulação 2-23-23. O mecanismo sulcador foi substituído pelo conjunto de discos de corte e de dosador de semente, para não eliminar possíveis efeitos negativos da compactação.

Os tratos culturais (controle de plantas daninhas, pragas e doenças) foram realizados de acordo com as recomendações para a cultura. Para o controle de plantas daninhas, foi realizada uma aplicação em V3 de Roundup Original e Verdict®R. Quanto ao controle de pragas, aos 45 dias após a semeadura, foi aplicado o inseticida Cipermetrina Nortox 250 EC e uma segunda aplicação em R5, com Engego Pleno S. Para o controle preventivo de doenças, realizaram-se três aplicações, em três épocas, sendo a primeira em 45 DAS utilizando o fungicida Fox, em 60 DAS Ativum® e a terceira aplicação em R5, com uso do fungicida Aprocuch® Prima. Em relação ao controle de percevejos foi feita uma aplicação em R3, com Orthene 750 BR (acefato).

3.4 Caracterização dos atributos físicos do solo após compactação

Para caracterização da área experimental, após a indução dos níveis de compactação, foram retiradas amostras de solo preservadas por meio de anéis volumétricos (0,0557 m de diâmetro, 0,0441 m de altura e 107,45 cm³). As coletas

foram realizadas na entrelinha de cada parcela, retirando-se amostras das camadas de 0-5, 5-10, 10-15 e 15-20 cm de profundidade. As amostras de solo com estrutura preservada foram envolvidas em papel filme e acondicionadas em geladeira, visando o mínimo de alteração estrutural e perda de água.

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 e a microporosidade do solo determinada pelo método da mesa de tensão com uma coluna de água de 60 cm de altura, conforme descrito por Donagema et al. (2011). Pela diferença entre a porosidade total e a microporosidade, foi obtida 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 utilizado na coleta (DONAGEMA et al., 2011).

Ao atingir o equilíbrio na tensão correspondente a coluna de água de 60 cm de altura, a resistência mecânica do solo à penetração (RP) foi determinada por meio de penetrógrafo eletrônico, com velocidade constante de penetração de 1 cm min⁻¹, diâmetro de base da haste de 4 mm e semiângulo de 30°. As amostras obtidas nos 5 mm superiores e inferiores foram descartadas, visando eliminar o efeito da periferia da amostra. A frequência de leituras de RP foi equivalente à coleta de 800 leituras por amostra e utilizando o valor médio, conforme descrito por Bergamin et al. (2010).

Nos Quadros 1 e 2 está apresentada a caracterização física-mecânica das áreas experimentais com SPC e SSD, respectivamente.

QUADRO 1. Atributos físicos do solo sob preparo convencional para níveis de compactação, em duas camadas, Dourados-MS, 2019

Atributos	Nível de compactação				CV (%)
	Zero	3	6	9	
Preparo convencional					
Camada de 0 - 10 cm					
Mac (m ³ m ⁻³)	28,06	28,30	20,07	15,73	20,5
Mic (m ³ m ⁻³)	34,85	44,55	49,54	49,83	21,2
Pt (m ³ m ⁻³)	62,91	72,85	69,61	65,56	16,4
Ds (Mg m ⁻³)	1,32	1,19	1,36	1,38	1,44
RSP (MPa)	0,33	0,11	0,39	0,81	78,2
Camada de 10 - 20 cm					
Mac (m ³ m ⁻³)	15,99	13,60	12,47	13,70	35,9
Mic (m ³ m ⁻³)	49,24	51,81	46,90	47,02	9,7
Pt (m ³ m ⁻³)	65,23	65,41	59,37	60,72	4,6
Ds (Mg m ⁻³)	1,29	1,46	1,44	1,47	7,3
RSP (MPa)	0,87	1,20	1,87	1,41	50,4

QUADRO 2. Atributos físicos do solo sob plantio direto para níveis de compactação, em duas camadas, Dourados-MS, 2019

	Zero	3	6	9	
Preparo Semeadura Direta					
Camada de 0 - 10 cm					
Mac (m ³ m ⁻³)	24,55	15,67	22,28	18,69	20,2
Mic (m ³ m ⁻³)	46,68	50,51	45,49	43,74	6,8
Pt (m ³ m ⁻³)	71,23	66,18	67,78	62,42	6,0
Ds (Mg m ⁻³)	1,30	1,41	1,28	1,37	10,3
RSP (MPa)	0,43	0,99	0,34	1,04	65,3
Camada de 10 - 20 cm					
Mac (m ³ m ⁻³)	19,56	15,65	15,73	18,86	25,2
Mic (m ³ m ⁻³)	49,40	49,09	47,43	46,60	5,2
Pt (m ³ m ⁻³)	68,97	64,74	63,16	65,46	5,6
Ds (Mg m ⁻³)	1,31	1,47	1,39	1,46	9,7
RSP (MPa)	0,92	1,37	0,81	0,60	39,7

Mac - macroporosidade; Mic - microporosidade; Pt - porosidade total; Ds - densidade do solo; RSP - Resistencia do solo à penetração; US - umidade do solo; CV: coeficiente de variação.

3.5 Atributos avaliados

3.5.1 Atributos químicos do solo

No dia da colheita da soja, foram abertas trincheiras de 10 cm localizadas na linha até a entrelinha, para coleta de amostras deformadas para análise química do solo. Foi retirada uma amostra composta de três sub amostras simples, nas camadas de 0 – 10 e 10 – 20 cm de profundidade em cada unidade experimental, totalizando 64 amostras de solo. O solo foi seco em estufa e moído para posterior determinação dos valores de potencial de hidrogênio (pH), matéria orgânica (MO), fósforo (P), cálcio (Ca), magnésio (Mg), potássio (K), alumínio (Al) e enxofre (S), conforme metodologia descrita por Teixeira et al. (2017).

Para obtenção dos valores de pH foi realizada a medição do potencial eletronicamente, por meio de eletrodo combinado imerso em suspensão solo:líquido e a leitura dos valores através do potenciômetro com eletrodo combinado.

Para MO foi realizada a oxidação dela via úmida com dicromato de potássio em meio sulfúrico, empregando o calor desprendido do ácido sulfúrico ou aquecimento como fonte de energia. Posteriormente, o excesso de dicromato foi titulado com solução padrão de sulfato ferroso amoniacal. A percentagem de MO calculou-se multiplicando o

resultado do carbono orgânico por 1,724 pois, na composição média do húmus, o carbono participa com 58%.

Para o fósforo se realizou a solubilização das formas fosfatadas minerais e orgânicas pelo H_2SO_4 1:1. O P presente no extrato sulfúrico correspondeu à concentração total do elemento. As leituras foram feitas em espectrofotômetro a 660 nm. Os cátions Ca e Mg adsorvidos foram removidos por soluções salinas e soluções de ácidos diluídas e determinados por métodos de absorção atômica. Para determinação do K, a extração foi realizada com solução diluída de ácido clorídrico e a determinação por espectrofotometria de chama.

A determinação dos teores de S, foi realizada através do ataque da amostra com HCl 1:1, precipitação com BaCl_2 , calcinação do BaSO_4 e determinação gravimétrica do precipitado.

3.5.2 Análise nutricional dos grãos

No momento da colheita, aos 138 dias após a semeadura, em 18 de fevereiro de 2020, foi retirada uma amostra composta de grãos de cada unidade experimental, totalizando 32 amostras para análise nutricional dos macronutrientes N, P, K, Ca e Mg.

A digestão sulfúrica foi realizada conforme a metodologia descrita por Tedesco et al. (1995). Primeiramente foram pesados 0,200 gramas de tecido vegetal colocando em seguida nos tubos de digestão e adicionando 0,20 gramas da mistura de digestão (100 g de NaSO_4 e 10 g de CuSO_4). Com a luz e exaustão da capela ligados, se adicionou lentamente 1 mL de peróxido de hidrogênio pela parede do tubo e 2 mL de ácido sulfúrico. Após, as amostras foram colocadas no bloco de digestão à 150 °C e monitoradas por 30 minutos.

De 30 em 30 minutos aumentava-se 50°C da temperatura, até atingir 350°C ou quando todos os extratos estivessem com coloração verde-claro. Após os tubos esfriarem, foram adicionados 50 mL de água destilada em cada tubo, reservando o extrato em acrílicos de 30 mL para posterior determinação de P, K, Ca e Mg, sendo o N destilado nos 20 mL remanescentes no tubo de digestão.

Os elementos Ca e Mg foram determinados por espectrometria de absorção atômica, P e K através da espectrometria de chama de emissão e N pelo processo de destilação e titulação com H_2SO_4 0,0025 Mol L⁻¹, concordando com os procedimentos descritos por Tedesco et al. (1995).

O Quadro 3 apresenta uma classificação de acordo com a concentração dos nutrientes presentes em grãos de soja, a qual foi utilizada para balizar os valores obtidos no presente estudo, classificando-os de acordo com os níveis: muito baixa, baixa, suficiente ou média, alta ou muito alta (EMBRAPA, 2004).

QUADRO 3. Classificação da concentração dos nutrientes P, K, N, Ca e Mg (g kg^{-1}) nos grãos de soja

Nível	Classe	Concentração dos nutrientes (g kg^{-1})				
		P	K	N	Ca	Mg
Muito baixa	1	<1,6	<12,5	<32,5	<2,0	<1,0
Baixa	2	1,6 a 2,5	12,5 a 17,0	32,5 a 45,0	2,0 a 3,05	1,0 a 2,05
Suficiente ou média	3	2,5 a 5,0	17,0 a 25,0	45,0 a 55,0	3,5 a 20,0	2,05 a 10,0
Alta	4	5,0 a 8,0	25,0 a 27,5	55,0 a 70,0	20,0 a 30,0	10,0 a 15,0
Muito Alta	5	>8,0	>27,5	>70,0	>30,0	>15,0

Fonte: Embrapa (2004).

3.6 Análise estatística dos dados

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância utilizando-se o programa SAEG, versão 9.1. Quando significativo o teste F, utilizou-se o teste de Tukey, a 5% de probabilidade, para comparar as médias dos dados obtidos nos dois sistemas de preparo do solo.

O efeito das passagens do trator é um fator quantitativo, então adotou-se análise de regressão dos seus níveis de compactação sobre os atributos químicos do solo, com os coeficientes sendo testados pelo teste t, a 5% de probabilidade.

Para analisar a relação existentes entre os atributos químicos do solo e os atributos físicos do solo foi usado o coeficiente de Pearson, testado pelo teste t a 5% de probabilidade. Havendo significância, procedeu-se análise de regressão linear simples e múltiplas, com os coeficientes sendo testados pelo teste t, a 5% de probabilidade.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Atributos químicos do solo

No Quadro 4 está apresentado o resumo da análise de variância para dois sistemas de manejo do solo e quatro níveis de compactação, em duas profundidades amostradas.

Quanto aos atributos químicos do solo (Quadro 4), somente os valores de P foram influenciados pelo sistema de manejo adotado. O P é um elemento praticamente imóvel no perfil, então, o resultado observado possivelmente deve-se à sua maior concentração nas camadas superficiais do solo. Tais respostas podem ser corroboradas por Costa et al. (2007), os quais também observaram influência do sistema de manejo do solo somente sobre os valores de P disponível.

Silva e Silveira (2002) conduziram um estudo com o objetivo de verificar os efeitos de quatro sistemas de cultivo nas características químicas e físicas do solo. O efeito dos sistemas agrícolas foi mais pronunciado no gradiente do perfil, principalmente no Plantio Direto, do que entre os sistemas de preparo, semelhante ao presente estudo.

Resultado semelhante também foi observado por Carneiro et al. (2009), avaliando os efeitos de sistemas de manejos e usos do solo nos atributos físicos, químicos e biológicos em Latossolo Vermelho distrófico e um Neossolo Quartzarênicoórtico. Os autores constataram que os atributos químicos mostraram pequena variação entre as áreas com diferentes usos e manejos dos solos sob Cerrado.

Analisando-se as profundidades amostradas e os níveis de compactação, observou-se diferença significativa para os valores de pH, K, P, Ca, Mg, MO e S (Quadro 4).

4.1.1 Potencial hidrogeniônico (pH)

Para o pH houve interação entre sistemas de preparo em função do número de passagens de trator. Antes da implantação do experimento, o solo da área experimental apresentava pH 6,0; conforme consta na caracterização do local, portanto, houve redução nos valores após o cultivo da soja, conforme pode ser observado na Figura 3.

QUADRO 4. Resumo da análise de variância dos atributos químicos pH, K, P, Ca, Mg, Al, MO e S do solo. Dourados-MS, 2021

FV	GL	Quadrados médios							
		pH	K	P	Ca	Mg	Al	MO	S
Bloco	3	0,72	13279,15	81,10	12,86**	0,89	0,23**	0,33	32,15**
Sp	1	0,097	8608,59	47,58*	1,78	0,54	0,14	0,15	11,64
Erro (A)	3	0,44	196955,8	11,32	1,83	0,72	0,12	0,39	7,374
Nc	3	0,82**	287594,1**	56,94*	7,91**	2,66**	0,63	3,16**	424,20**
Sp x Nc	3	0,15*	44295,48	16,02	0,61	0,37	0,26	0,46	2,81
Pf	1	0,23*	496764,2**	179,52**	13,54**	2,68**	0,62	10,12**	342,71**
SpxPf	1	0,001	14655,52	1,52	0,21	0,11	0,30	0,16	6,31
NcxPf	3	0,02	18542,59	18,37	0,71	0,21	0,15	0,12	107,73**
SpxNcxPf	3	0,01	2541,333	2,10	0,55	0,33	0,85	0,17	8,63
Resíduo	42	0,05	39235,01	19,39	0,97	0,17	0,38	0,45	24,64
Cv (%)	-	4,1	38,99	51,74	19,29	17,65	112,68	18,94	51,57

*p<0,05. **p<0,01. FV – fator de variação. GL – graus de liberdade. Sp – sistemas de preparo do solo. Nc – Níveis de compactação. Pf – profundidade da camada de amostragem. Cv – coeficiente de variação. Valores de P obtidos por extrator Mehlich.

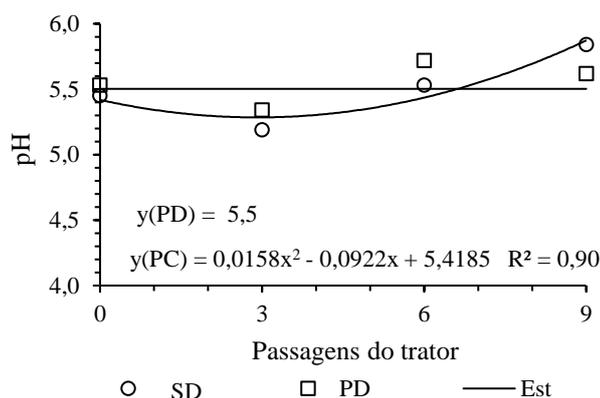


FIGURA 3. Potencial hidrogeniônico (pH) do solo em função do nível de compactação, para os dois sistemas de preparo de solo: preparo convencional (PC) e semeadura direta (SD).

Para a semeadura direta, o número de até nove passagens resultou em tendência de constância dos valores do pH (5,5), mesmo com o aumento do nível de compactação. Por outro lado, para o preparo convencional, os valores de pH seguiram comportamento de elevação conforme ocorreu acréscimo do número de passagens do trator (Figura 2).

As diferentes espécies de interesse agropecuário apresentam resposta diferenciada ao pH do solo e, para as culturas anuais, o pH ideal situa-se entre 5,5 e 6,5, sendo 6,0 o valor ideal para a cultura da soja (BRIGNOLI et al., 2020). Os solos ácidos apresentam predomínio de formas trocáveis e fitotóxicas de alumínio (Al_{3+}) na solução do solo em $pH \leq 5,5$, comprometendo o desenvolvimento do sistema radicular e, conseqüentemente, a absorção de nutrientes e o rendimento da maior parte das culturas agrícolas (RUTKOWSKA et al., 2015).

Desta forma, a correção da acidez é fundamental para o sucesso da referida espécie pois há interferência na disponibilidade dos nutrientes. Com exceção dos micronutrientes catiônicos (ferro, cobre, manganês e zinco), todos os demais nutrientes importantes para a planta têm sua disponibilidade reduzida em baixos pHs (ROSCOE e GITTI, 2013).

Resultado semelhante ao observado no presente trabalho foi obtido por Pupin (2008) onde, avaliando os efeitos da compactação nas propriedades microbiológicas do solo, concluiu que dentre outras variáveis, os valores de pH não aumentaram e não diminuíram significativamente quando comparados aos seis níveis de compactação estudados, tendo uma redução de apenas 2,5%.

A elevação do pH com o aumento da densidade no presente estudo, pode estar relacionada ao maior acúmulo de alguns elementos com o aumento da compactação, que podem ter ocasionado o mesmo processo citado por Falleiro et al. (2003), em seu trabalho. A capacidade tampão, que diz respeito à resistência do solo em ter o valor de seu pH alterado, é reduzida com altas concentrações de um cátion, como o K por exemplo, observado em grande quantidade principalmente no nível mais alto de compactação (BALIGAR, 1985).

4.1.2 Fósforo (P) e Potássio (K)

Para o elemento P (Figura 4), foi observada tendência de resposta quadrática de elevação, com a maior média dos teores sendo encontrada no tratamento que recebeu 6 passagens do trator, voltando a decrescer posteriormente. Para o K, obteve-se tendência linear crescente, ou seja, elevação na concentração do elemento conforme o número de passagens aumentou (Figura 5).

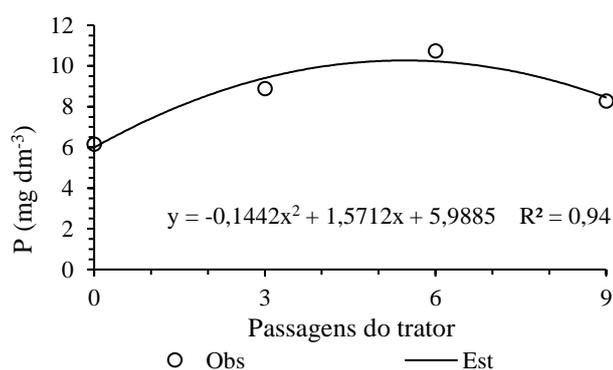


FIGURA 4. Concentração do elemento Fósforo (P) (mg dm^{-3}) no solo em função do número de passagens do trator.

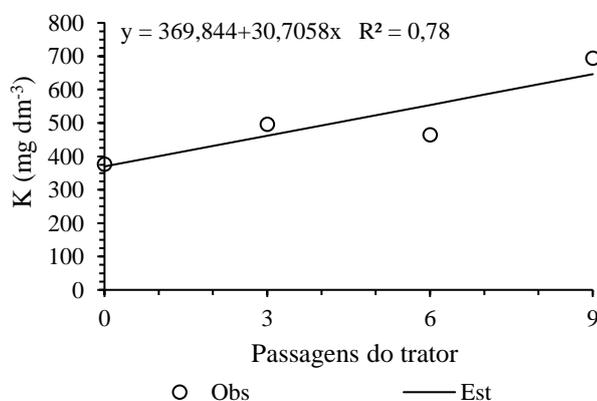


FIGURA 5. Concentração do elemento Potássio (K) no solo em função do número de passagens do trator.

Semelhante a estes resultados, Costa et al. (2009) avaliando o fluxo difusivo de potássio em três solos com texturas distintas, quando submetidos a diferentes níveis de umidade e compactação, observou que os valores de fluxo difusivo foram maiores quando não se promoveu a compactação. A difusão do potássio nos solos não compactados e compactados aumentou com a elevação do conteúdo de água, em todos os solos, independente da sua densidade. O maior fluxo difusivo foi observado no nível mais alto de umidade.

A manutenção de alta concentração destes nutrientes na solução do solo e ausência de impedimentos químicos e físicos favorece a difusão e absorção dos nutrientes. Na presença da compactação este processo é dificultado, favorecendo o acúmulo destes elementos no solo e dificultando a absorção pelas plantas. Por serem nutrientes absorvidos por difusão, o aumento no teor de P e K está intimamente relacionado ao seu incremento na solução do solo e, com isso, pode ser absorvido pelas culturas (COSTA et al., 2009)

Quanto maior for a capacidade de adsorção do mesmo, maior possibilidade de a compactação reduzir o teor de P nas plantas (ALVES et al., 2003) e conseqüentemente, maiores doses de P_2O_5 serão necessárias para manter o teor em quantidades adequadas (RIBEIRO et al., 2010).

4.1.3 Cálcio (Ca) e Magnésio (Mg)

Os nutrientes Ca (Figura 6) e Mg (Figuras 7) apresentaram comportamentos semelhantes, com tendência quadrática de seus valores com aumento do número de passagens do trator. De acordo com os resultados, a partir de 3 passagens há elevação do nível de ambos os nutrientes. É possível inferir que uma leve compactação proporcionada maior disponibilidade de Ca e Mg.

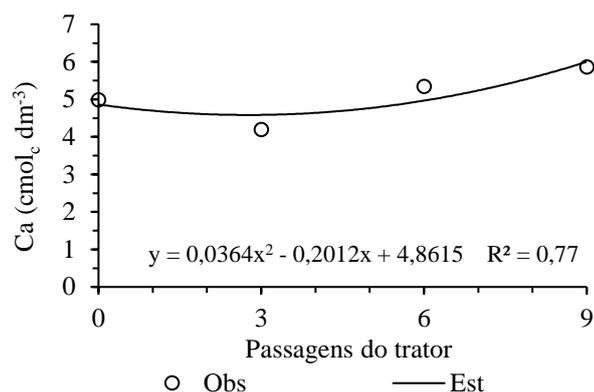


FIGURA 6. Concentração do elemento Cálcio (Ca) no solo em função do número de passagens do trator.

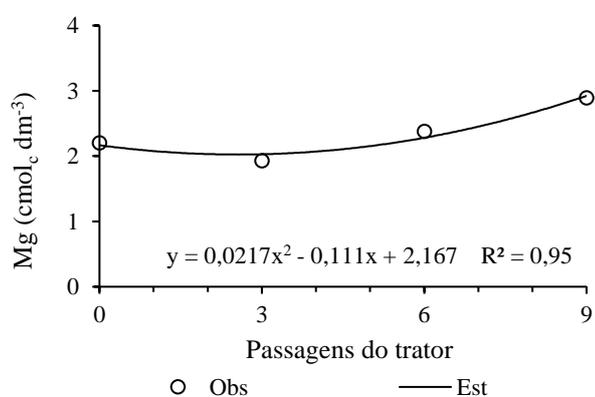


FIGURA 7. Concentração do elemento Magnésio (Mg) no solo em função do número de passagens do trator.

Bonfim-Silva et al. (2011), ao estudarem o efeito do adensamento sobre a produtividade em plantas de trigo, observaram que as maiores produções foram obtidas nos tratamentos com maiores densidades. Os autores atribuíram tal resultado aos níveis de compactação que favoreceram os nutrientes a permanecer ao alcance e disponíveis para as raízes da cultura. Possivelmente o referido evento também ocorreu no presente estudo.

A densidade do solo pode afetar o desenvolvimento das plantas, mas, além disso, observa-se sua interferência na absorção de nutrientes, como ocorreu neste estudo com será visto mais adiante. A compactação tem efeito negativo na porosidade, o que afeta a disponibilidade de nutrientes para as plantas, visto que interfere nos mecanismos de fluxo de massa e difusão, que transportam os nutrientes até as raízes. O Ca e o Mg movimentam-se por fluxo de massa, sendo que para o Ca a interceptação radicular também é importante devido a sua menor mobilidade. Estes são processos que dependem da estrutura do solo (MEDEIROS et al., 2005).

4.1.4 Enxofre (S)

Analisando o elemento S (Figura 8), pode-se observar que ambas as camadas de solo avaliadas apresentaram comportamento semelhante, com tendência quadrática de elevação de seus valores. Na camada subsuperficial (10-20 cm) este efeito foi mais pronunciado, apresentado as maiores médias em torno de 4 passagens do trator. Tal resultado sugere menor absorção pelas plantas na camada de 0-10 cm.

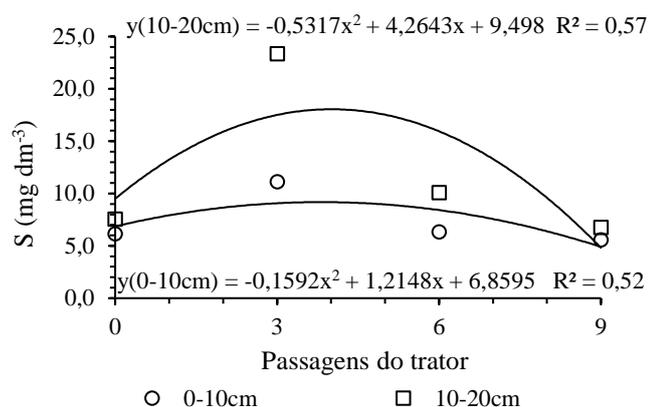


FIGURA 8. Concentração do elemento enxofre (S) no solo em função do número de passagens do trator nas camadas de 0-10 cm e 10-20 cm.

O S geralmente está na forma de sulfato no solo (SO_4^{2-}) e devido a sua mobilidade acumula-se em maior quantidade na camada subsuperficial do solo, conforme observado no presente estudo. Sendo assim a avaliação de sua disponibilidade deve considerar a análise das camadas de 0-20 e 20-40 cm de profundidade (NAVARRO et al., 2017). Os dados pluviométricos não podem ajudar na explicação deste resultado;

Semelhante aos presentes resultados, Valadão et al. (2017), avaliando a influência da compactação sobre o teor de macronutrientes e produtividade da soja, verificaram que houve influência na disponibilidade e absorção dos elementos pelas plantas, ocorrendo aumento nos valores de S encontrados. O teor de S da parte aérea da soja aumentou 51% com oito passagens de trator, pois houve aumento da retenção deste nutriente no solo, evitando perdas por lixiviação e maior teor nas plantas.

A compactação reduz a macroporosidade total do solo e com o aumento da resistência a penetração ocorre decréscimo na taxa de infiltração de água, afetando o contato dos íons com as raízes. Os nutrientes absorvidos por fluxo de massa, principal meio de transporte de S no solo e aqueles absorvidos através da difusão podem ter sua

absorção pelas plantas afetada (ALVES et al., 2003; CABRAL et al., 2012; VALADÃO et al., 2017).

Em solos muito compactados pode ocorrer maior ou menor absorção dos elementos essenciais. O maior contato dos elementos químicos com as partículas sólidas altera o transporte destes até as plantas, o que pode explicar o fato dos níveis mais elevados de compactação ter ocorrido menor acúmulo de S no solo, indicando maior absorção pelas plantas (SILVA et al., 2008). Assim, fica entendido os resultados obtidos para S na camada subsuperficial do solo (10-20 cm) deste trabalho.

4.1.5 Matéria Orgânica (MO)

Para a MO do solo (Figura 9), pode-se observar comportamento quadrático, com os seus valores aumentando com mais de 4 passagens do trator. Isso ocorreu provavelmente devido à maior compressão exercida neste local, acumulando MO por retenção no solo.

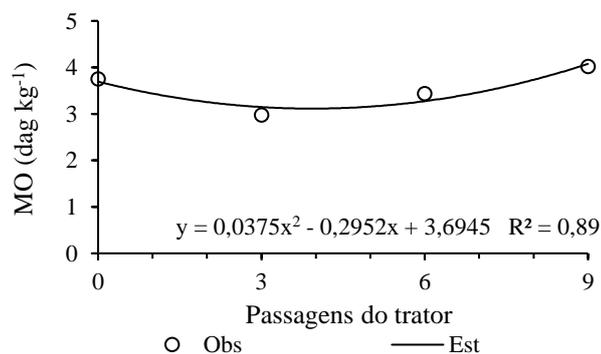


FIGURA 9. Presença de matéria orgânica (MO) no solo em função do número de passagens do trator.

Lemos Filho et al. (2008), em trabalho desenvolvido com o objetivo de analisar a estrutura de continuidade de matéria orgânica do solo, observaram que a camada de solo menos compactada apresentava maior teor de matéria orgânica quando comparada as mais compactadas. Segundo os autores, com o aumento da densidade do solo ocorre decréscimo nos teores de MO. Entretanto, os resultados obtidos no presente trabalho diferiram dos anteriormente descritos sendo tal distinção justificável pois, segundo Valadão et al. (20017), diferentes resultados quanto à absorção de nutrientes em solos compactados são encontrados na literatura.

De acordo com Marschner (2011), dependendo do tipo de solo e da umidade, em densidades de até $1,4 \text{ Mg m}^{-3}$, o impedimento ao crescimento radicular não está correlacionado com a inibição da absorção de nutrientes e pode ser atribuído ao aumento no poder-tampão do solo em relação aos nutrientes, ao aumento na densidade do solo (SILBERBUSH et al., 1983) e aos reguladores de crescimento produzidos nas raízes. Pode ainda haver algum mensageiro químico envolvido (BENGOUGH e YOUNG, 1993).

4.1.6 Interpretação dos atributos químicos do solo

De acordo com a classificação da EMBRAPA (2013) os valores de pH e de Al permaneceram dentro da faixa considerada média. Já os valores dos elementos K, Ca e Mg foram classificados como altos; a MO, como baixa; O P foi classificado como adequado, levando em consideração a classificação para solos argilosos (56,1% de argila). O S situou-se na faixa média, mas, no sistema convencional, na profundidade de 0-20 cm e no nível de compactação com 3 passagens de trator, os valores foram considerados altos.

Portanto, independente do sistema de preparo do solo, profundidade e níveis de compactação, o pH e o Al permaneceram dentro da faixa ideal, sendo apenas a MO considerada abaixo do ideal.

Os valores do elemento K foram elevados, o que é atribuído a adubação feita no local e a mobilidade deste nutriente. O cloreto de potássio (KCl) é a principal fonte de K utilizada nas culturas de grãos no Brasil. Este sal é muito solúvel em água e o íon K possui baixa força de adsorção aos colóides (RAIJ, 1997; LOPES, 2005).

O K não possui função estrutural no metabolismo das plantas, assim permanece quase totalmente nos tecidos, na forma iônica. Por não ficar incorporado às cadeias carbônicas da MO, após a colheita ou senescência das plantas, volta para ao solo rapidamente, prontamente disponível para as culturas (RAIJ., 1997).

Estes resultados podem ser consequência de a área experimental anteriormente ser conduzida sob o Sistema Plantio Direto, portanto, o tempo em que o solo foi submetido à compactação e ao sistema de cultivo Convencional pode não ter sido suficiente para alterações bruscas na qualidade química do solo. Também sugerem interferências na absorção dos nutrientes pelas plantas, fazendo com que estes ficassem concentrados em maior quantidade no solo.

Com relação às diferenças observadas para os elementos entre as camadas amostradas (Quadro 4), pode-se observar maiores valores na superfície em 0 – 10 cm, exceto para o S. Atualmente a tendência observada é o acúmulo de nutrientes, principalmente Ca, Mg, K e P nas camadas superficiais do solo no SPD, pois além de não ocorrer revolvimento, também há o acúmulo de nutrientes no tecido das plantas cultivadas, que posteriormente se decompõe e liberam esses nutrientes nas camadas superficiais (PAVINATO e ROSOLEM, 2008).

No SPD há diminuição significativa do revolvimento mecânico do solo e da incorporação dos resíduos culturais. Desta forma, ocorrem modificações nos teores de MO, CTC, pH, na dinâmica dos íons e na agregação do solo. Entretanto, essas modificações tornam-se mais evidentes com o aumento de tempo de cultivo com SPD (TOGNON et al., 1997; DE MARIA et al., 1999).

4.2 Teores de nutrientes nos grãos

No Quadro 5 está apresentado o resumo da análise de variância dos elementos nutricionais de P, K, N, Ca e Mg presentes nos grãos de soja, para os dois sistemas de manejo do solo e os quatro níveis de compactação. Os teores de Ca e Mg foram influenciados pelo sistema de preparo do solo, enquanto os teores de P, K, N e Mg influenciados pelo número de passagens do trator.

QUADRO 5. Resumo da análise de variância dos atributos químicos P, K, N, Ca e Mg contidos nos grãos. Dourados-MS, 2021

FV	GL	Quadrados médios				
		P	K	N	Ca	Mg
Bloco	3	0,6543	0,0174	75,0780	0,3708	0,0311
Sp	1	0,0282	0,3376	2,1980	1,1935**	0,0523**
Erro (A)	3	0,0944	0,4418	189,470	0,1142	0,0061
Pt	3	1,2774*	0,8174*	883,406*	0,1785	0,0717**
Sp x Pt	3	0,0368	0,0583	37,2794	0,1546	0,0019*
Resíduo	18	0,3355	0,2666	186,319	0,1335	0,0051
Cv (%)	-	31,133	5,39	19,400	11,656	2,2092

*p<0,05. **p<0,01. FV – fator de variação. GL – graus de liberdade. Sp – sistemas de preparo do solo. Pt – passagens do trator. Pf – profundidade da camada de amostragem. Cv – coeficiente de variação.

Carvalho et al. (2004), avaliando o desempenho da cultura da soja em sucessão a adubos verdes no sistema plantio direto e preparo convencional, observaram que o sistema convencional de preparo favoreceu o desenvolvimento vegetativo das

plantas no primeiro ano de experimentação. Segundo os autores, as raízes das plantas podem ter se desenvolvido melhor devido ao revolvimento do solo, permitindo melhor exploração dele, com aumento de absorção de nutrientes e água.

Resultado oposto foi observado por Reis et al. (2007), onde avaliando as diferenças entre os sistemas de preparo nas características do solo e no desenvolvimento da cultura da soja em Latossolo Vermelho Eutroférico e analisando a população inicial e final da cultura, verificaram que não houve diferença entre os tratamentos com diferentes sistemas de preparo do solo, indicando boa germinação de sementes e desenvolvimento das plantas. As características agronômicas da planta não foram influenciadas.

Pereira et al. (2011), com o objetivo de avaliar o efeito de diferentes sistemas de manejo sobre os componentes de produção de soja solteira e em consórcio, observou na análise de macro e micronutrientes da cultura da soja, que os sistemas de manejo não influenciaram os teores foliares de N, K, Ca, Mg, S, B e Mn. O elemento fósforo apresentou média maior no Sistema Semeadura Direta, quando comparado com Sistema Convencional e Cultivo mínimo.

Os níveis de compactação influenciaram nos elementos teores de N, P, K e Mg presentes dos grãos (Quadro 5). Com o objetivo de avaliar a concentração de macronutrientes nas folhas diagnósticas de capim-piatã e capim-mombaça, submetidos à compactação do solo, Cabral et al. (2012) verificaram que a densidade interferiu na nutrição mineral dos capins nos dois períodos de crescimento das gramíneas. No primeiro, a compactação interferiu na concentração foliar de nitrogênio e fósforo e no segundo, afetou a concentração foliar de nitrogênio e potássio. Em todas as densidades de solo não houve deficiência de N no primeiro período de crescimento. Os autores atribuíram o resultado a redução do diâmetro dos poros, que aumentou a condutividade hidráulica do solo não saturado, fenômeno importante para o fluxo de massa, via principal para o transporte de nitrato.

De forma geral, a literatura estabelece de maneira convicta que o crescimento vegetativo vigoroso promove o desenvolvimento rápido da área foliar e a formação de uma estrutura de planta capaz de suportar rendimentos elevados. Também aumenta a acumulação de proteínas de armazenamento vegetativo que poderão, posteriormente, ser translocadas para os grãos (MAEHLER et al., 2003).

4.2.1 Interferência da compactação nos teores de P e K nos grãos

Para o nutriente P (Figura 10), tem-se modelo quadrático, com maior nível de P nos grãos sendo observado no nível zero de compactação, decrescendo e mantendo-se estável a partir de passagens.

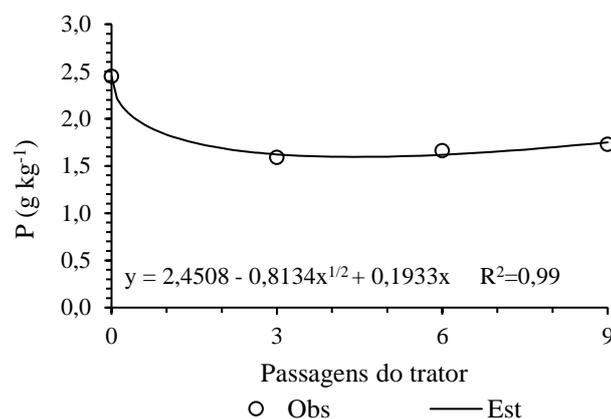


FIGURA 10. Concentração do elemento fósforo (P) em grãos de soja em função do número de passagens do trator.

Silva et al. (2008), avaliando a influência da compactação em solo com diferentes umidades, sobre a densidade e a difusão de P e Zn em dois Latossolos, observaram que houve aumento do fluxo difusivo de P e Zn com a compactação e umidade crescentes e, atribuiu este resultado ao aumento da densidade com o da umidade.

A compactação pode reduzir a porosidade, que por sua vez altera a dinâmica de água no solo, meio pelo qual os nutrientes são absorvidos e tornam-se disponíveis as plantas. Com o aumento da densidade do solo, há maior contato entre solo e raiz, o que pode proporcionar maior absorção de P, devido a este se mover por difusão e apresentar baixa mobilidade no solo (CABRAL et al., 2012).

Para o elemento K (Figura 11), foi obtida tendência linear crescente, sugerindo ter sido a absorção favorecida pela compactação, o que provavelmente ocorreu pela aproximação entre as partículas do solo sob compactação, que proporciona menor lixiviação deste elemento e consequentemente maior aproveitamento pelas culturas. De acordo com Oliveira et al. (1998), com o aumento da compactação a difusão aumenta até atingir um máximo, decrescendo em seguida. Isto ocorre devido à maior aproximação das partículas, favorecendo a continuidade do filme de água,

encurtando a distância percorrida pelo íon. Estas alterações são atribuídas a mudanças no fator de impedância que envolve a tortuosidade.

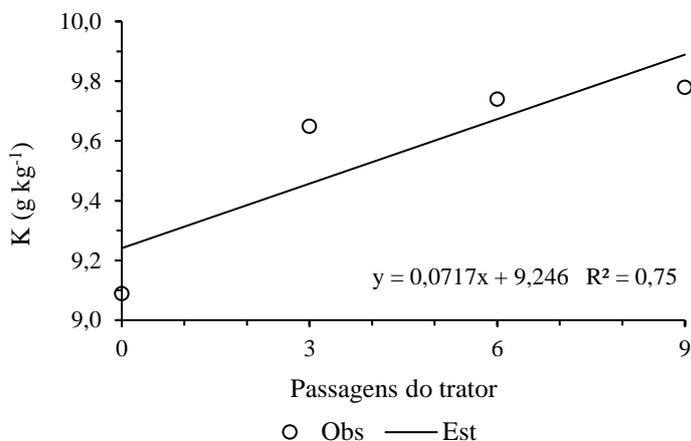


FIGURA 11. Concentração do elemento Potássio (K) em grãos de soja em função do número de passagens do trator.

Segundo Valadão et al. (2017), onde se tem maior compactação no solo, há maior massa de solo para o mesmo volume ocupado. Portanto, é possível encontrar a mesma quantidade de P que em solos não compactados. Em contrapartida, sabe-se que a redução da aeração e mineralização da matéria orgânica, bem como o aumento da energia de retenção de água no solo, favorecem a interação do fosfato e superfície dos colóides, o que sugere menor disponibilidade para as culturas e maior acúmulo no solo (BERGAMIN et al., 2010, VALADÃO et al., 2015).

A partir de quatro passagens de trator, Valadão et al. (2017), observaram aumento de 17% no teor de K na soja.

Íons que reagem com a superfície das partículas, como o K e P, movimentam-se principalmente por difusão. A influência da compactação neste processo ainda não é clara. Em alguns experimentos a compactação aumentou a absorção, em outros diminuiu o coeficiente de difusão dos íons (CAMARGO e ALLEONI, 2006).

Cornish et al. (1984), concluíram que a compactação afetou de forma contrastante a habilidade das raízes de centeio de extraírem P do solo. Em alta densidade mais do elemento foi colocado em contato com as raízes, o que aumentou sua disponibilidade. Mas, ainda assim houve redução no comprimento das raízes, reduzindo a pronta disponibilidade do nutriente para a planta. Mais uma vez, o conteúdo de água foi determinante. Novamente observa-se a importância da mobilidade do nutriente na

planta. O P, é extremamente móvel, mesmo sobre condições de adensamento do solo, portanto, a constituição nutricional dos grãos não foi negativamente afetada.

Ohland et al. (2014), avaliando a influência da densidade do solo no desenvolvimento inicial da cultura do pinhão-manso em Latossolo Vermelho eutroférico, observou redução linear no conteúdo de P das folhas e de K nas raízes a medida em que se aumentava a densidade do solo. O aumento da densidade provocou menor crescimento das raízes, reduziu os poros do solo e afetou o processo de transporte de nutrientes por difusão, o que resultou em menor absorção de P e K. Segundo Meurer (2006), estes nutrientes que são transportados por difusão e a absorção dos mesmos cria uma zona de depleção em torno das raízes. Assim, se a difusão é dificultada e não ocorre reposição do nutriente na zona de absorção, refletindo em menor absorção.

4.2.2 Interferência da compactação nos teores de N dos grãos

Para o elemento N (Figura 12), foi obtida tendência quadrática de redução, sendo o mínimo valor observado com 4 passagens do trator. Porém, a partir deste ponto foi obtida tendência de elevação, sendo a maior média exibida por 9 passagens do trator. Novamente infere-se que a compactação beneficiou o aporte nutricional de N nos grãos.

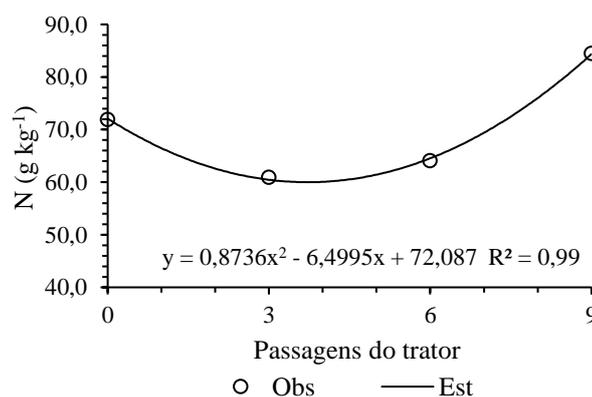


FIGURA 12. Concentração do elemento Nitrogênio (N) em grãos de soja em função do número de passagens do trator.

Resultado semelhante foi verificado por Matté (2019) ao estudar o efeito da compactação sobre a absorção de nutrientes em plantas de soja, onde a maior densidade propiciou a absorção de N. A maior absorção do referido elemento pode favorecer a translocação dos mesmos aos grãos, permitindo a participação deste elemento na

composição nutricional. Além disso, Cabral et al. (2012) observaram que em todas as densidades de solo estudadas, não houve deficiência de N no primeiro período de crescimento. O N apresenta elevada mobilidade em vegetais e assim, não havendo restrição em sua absorção e/ou fixação pelas plantas, este nutriente será redistribuído aos órgãos com maior demanda nutricional, o que explica sua elevada concentração nos grãos mesmo em condições de elevada compactação do solo.

4.2.3 Interferência da compactação nos teores de Ca e Mg nos grãos

Os níveis de compactação não interferiram nos valores de Ca dos grãos. Enquanto para o elemento Mg, ambos os métodos de cultivo exibiram tendências lineares decrescentes conforme a compactação aumentou (Figura 13).

Em avaliação da influência da compactação e adubação fosfatada sobre o teor de macronutrientes e produtividade de grãos de soja, em Latossolo Vermelho, Valadão et al. (2017), verificaram que a compactação e formas de doses de adubação fosfatada, influenciaram a disponibilidade e absorção dos elementos pela planta, dentre eles o Ca e Mg que reduziram de forma significativa, semelhante ao presente estudo.

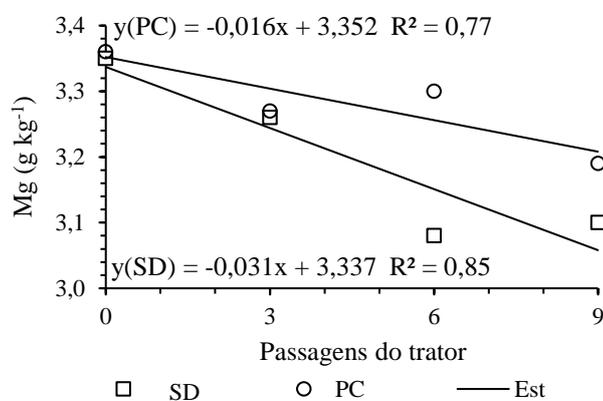


FIGURA 13. Concentração do elemento Magnésio (Mg) em grãos de soja em função da interação dos fatores preparo do solo e níveis de compactação.

4.2.4 Comparação entre os teores de nutricionais presentes nos grãos e o padrão

No Quadro 6 estão apresentadas as classes dos teores de nutrientes contidos nos grãos, obtidos nos dois sistemas de preparo do solo e níveis de compactação, quando comparadas com as concentrações dos nutrientes para interpretação dos resultados, descritos pela Embrapa (2004) (Quadro 3).

QUADRO 6. Classes do teor de nutrientes contidos nos grãos (g kg^{-1}) obtidos nos dois sistemas de preparo do solo e níveis de compactação por comparação com o padrão Embrapa (2004)

	P	K	N	Ca	Mg
Sistemas de manejo do solo					
Convencional	2	1	5	2	3
Plantio Direto	2	1	5	2	3
Níveis de compactação por passagens do trator					
Zero	2	1	5	2	3
3	2	1	4	2	3
6	2	1	4	2	3
9	2	1	5	2	3

Descrição das classes: 1: Deficiente ou muito baixa; 2: Baixa; 3: Suficiente ou média; 4: Alta; 5: Excessiva ou Muito Alta.

Os valores de P, K e Ca foram baixos ou muito baixos. Os valores de Mg permaneceram na faixa suficiente ou média e os valores de N foram considerados altos ou muito altos. Estes resultados corroboram com os discutidos anteriormente no presente estudo, onde os níveis de compactação colaboraram para maior acúmulo de alguns elementos no solo e interferiram na absorção dos mesmos, para mais ou para menos.

4.3 Aspectos Gerais

Assim como os resultados dos atributos químicos do solo, os resultados dos teores de nutrientes nos grãos função da compactação são contraditórios. Valadão et al. (2017) observou que com oito passagens de trator houve redução de 18% de Ca e 14% de Mg na soja, com relação ao tratamento com zero passagens. Em contrapartida, o teor de S da parte aérea da soja aumentou 51% com oito passagens de trator, assim como ocorreu para o K.

Borges et al. (1986), avaliando o crescimento de variedades de soja em vasos com camada intermediária compactada, observaram ganhos em produção de matéria seca em algumas plantas e acúmulo de P, K e Mg, onde se fazia uma leve compactação ($1,0 \text{ kg dm}^{-3}$). Este resultado foi atribuído à disponibilidade de água e à proximidade dos nutrientes do sistema radicular, devido ao aumento do conteúdo volumétrico de água e de solo para as raízes explorarem. Em maiores níveis de compactação, a tendência era decréscimo de acúmulo dos nutrientes e produção de matéria seca.

Borges et al. (1998), observou que em solo de textura franco-arenosa a compactação afetou de forma negativa a nodulação da soja, acarretando em menor teor de N na cultura. Entretanto, houve incremento nos teores de P devido, provavelmente, à baixa capacidade de retenção deste elemento no solo. Miransari et al. (2009) encontraram limitações na nutrição do milho devido à compactação.

As principais plantas cultivadas respondem de diferentes maneiras a compactação. No feijão já foram observadas reduções de até 75% na produtividade (ORZOLEK, 1991) e no trigo apenas 9 – 20 e 12 – 23% na produtividade de grãos e na matéria seca, respectivamente (OUSSIBLE et al., 1992).

Cabe ressaltar que o nível de precipitação relativamente baixo durante o maior período na condução do experimento pode ter interferido diretamente nos resultados obtidos, especialmente na absorção dos nutrientes pelas plantas. Costa et al. (2009), avaliando o fluxo difusivo de potássio submetidos a diferentes níveis de umidade e compactação, observou que a difusão do potássio nos solos não compactados e compactados aumentou com o acréscimo do volume de água em todos os solos estudados. Os autores atribuíram o resultado a elevação do conteúdo de água no solo que reduz a tortuosidade do caminho de difusão e aumenta a espessura do filme de água nos poros. A umidade também pode ter influência na distribuição de íons entre as fases sólidas e líquidas do solo.

O manejo onde se tinha maior disponibilidade de água facilitou a absorção de P e K na parte aérea das plantas em todos os níveis de compactação e de N nos níveis mais elevados de compactação (COSTA et al., 2009). De acordo com Nye e Tinker (1977), o fator de impedância se aproxima de zero nos solos mais secos atingindo valores entre 0,4 e 0,7 em condições de saturação. Entretanto, a influência da compactação do solo sobre a absorção de nutrientes, o desenvolvimento das raízes e parte aérea das plantas também dependem da espécie e da classe de solo, além do teor de água.

4.3 Correlação de Pearson

Na análise de correlação de Pearson (Quadro 7) nota-se que, no Preparo Convencional, o pH teve correlação positiva com a densidade do solo, indicando que, com o aumento da densidade do solo ocorreu elevação do pH. Na Semeadura Direta, houve correlação negativa com a resistência do solo a penetração, pois conforme esta aumentava, decrescia os valores de pH.

QUADRO 7. Correlação entre os atributos químicos e físicos do solo, obtidos nos dois sistemas de manejo do solo. Dourados-MS, 2021

Atributos químicos	Atributos físicos	Correlação de Person	
		Preparo convencional	Semeadura Direta
pH	MACRO	-0,1467	0,0569
pH	MICRO	-0,0371	-0,2092
pH	POT	-0,1448	-0,0945
pH	DS	0,3403*	-0,1812
pH	RP	0,0155	-0,348*
K	MACRO	0,0345	-0,013
K	MICRO	0,0336	-0,11
K	POT	-0,0341	-0,0978
K	DS	0,1809	0,0052
K	RP	-0,1236	-0,0965
P	MACRO	0,1499	-0,1125
P	MICRO	0,1098	-0,2297
P	POT	-0,4843*	-0,3*
P	DS	0,2903*	0,1375
P	RP	-0,1811	0,151
Ca	MACRO	0,0273	0,3142*
Ca	MICRO	-0,0629	-0,2266
Ca	POT	-0,1699	0,1809
Ca	DS	0,2761	-0,2722
Ca	RP	-0,1466	-0,2858*
Mg	MACRO	-0,0307	0,2878*
Mg	MICRO	-0,0018	-0,2995*
Mg	POT	-0,0882	0,0961
Mg	DS	0,2157	-0,22
Mg	RP	-0,1583	-0,2964*
Al	MACRO	-0,0858	0,1751
Al	MICRO	0,0592	0,0233
Al	POT	0,0271	0,214
Al	DS	-0,1883	-0,095
Al	RP	0,0365	0,0815
MO	MACRO	0,0839	0,4513*
MO	MICRO	0,0405	-0,1232
MO	POT	-0,088	0,4128*
MO	DS	0,0619	-0,3105*
MO	RP	-0,2018	-0,3306*
S	MACRO	-0,1762	-0,3749*
S	MICRO	0,1751	0,2836
S	POT	0,0449	-0,2059
S	DS	0,0864	0,4933*
S	RP	0,3023*	0,3253*

*Significativo pelo teste t, a 5% de probabilidade.

No Preparo Convencional as concentrações de P tiveram correlação negativa com a porosidade total, onde, com a diminuição desta houve aumento de P. Nota-se também, correlação positiva com a densidade, indicando que com o aumento deste atributo físico mais P fica retido no solo. No Plantio Direto, há correlação negativa com a porosidade total, pois com a redução desta, maior o valor de P encontrado.

No Quadro 7 é possível observar correlação positiva dos valores de Ca e Mg no SSD com a macroporosidade, pois com o aumento desta, maior teor destes nutrientes foi encontrada no solo. Também se pode visualizar correlação negativa da resistência à penetração com as concentrações de Ca e Mg, onde com o aumento da resistência à penetração houve diminuição na concentração destes elementos. Nota-se correlação negativa da microporosidade com o Mg, pois com o aumento deste atributo físico, maior o teor de Mg encontrado.

Solos argilosos sob SPD, por possuírem maior volume de microporos em relação ao de macroporos, tendem a apresentar nessas condições maior resistência à penetração e menor macroporosidade. Além disso, a resistência à penetração correlaciona-se diretamente à densidade do solo, e estes atributos normalmente são inversamente proporcionais à macroporosidade, em razão das práticas de manejo do solo (ARCOVERDE et al., 2019b).

Assim, tem-se melhor compreensão no que tange a correlação positiva entre Ca e Mg com a macroporosidade, por este atributo ser sensível e um importante indicador de qualidade de solos sob manejo agrícola, principalmente aqueles com predominância de microporosidade, como o Latossolo Vermelho distroférico.

No preparo convencional e no plantio direto a concentração de S teve correlação positiva com a resistência à penetração, pois, conforme houve aumento deste atributo físico, maior a quantidade encontrada de S no solo. Em contrapartida, na semeadura direta, observa-se correlação negativa com a macroporosidade, ocorrendo aumento de S com a diminuição desta. Neste sistema de preparo também é possível observar correlação positiva do S com a densidade do solo, já que maiores teores deste nutriente foram encontrados nas densidades mais elevadas.

Na Semeadura Direta a MO teve correlação positiva com a macroporosidade e a porosidade total, pois com a diminuição dos valores destes também houve menor acúmulo de MO no solo. Também houve correlação negativa com a microporosidade, densidade e resistência a penetração, já que neste sistema de preparo com o aumento destes atributos físicos, menor a concentração de MO encontrada.

5 CONCLUSÕES

A concentração de P aumenta até 6 passagens. Os teores de Ca e Mg no solo aumentam a partir de 3 passagens, enquanto os teores de K e MO, apresentam concentrações mais elevadas com maior compactação. O maior teor de S foi observado na camada subsuperficial até 4 passagens.

A compactação do solo reduz a exportação de P e Mg, sendo este também prejudicado pelos sistemas de cultivo. Maiores níveis de compactação favorecem a concentração de K e N nos grãos de soja.

O Ca dos grãos não sofre interferência da compactação tampouco dos sistemas de cultivo.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BAYER - AGRO BAYER BRASIL. **Monsoy 6410 IPRO**. Acesso em: 25 de março de 2020. Disponível em: <<https://www.agro.bayer.com.br/essenciais-do-campo/sementes/monsoy/m-6410-ipro>>

ALVARENGA, R.C.; COSTA, L.M.; FILHO, W.M.; REGAZZI, A.J. Produção de matéria seca e absorção de nutrientes por leguminosas, em resposta à compactação do solo. **Revista Ceres**, v. 44, n. 254, p. 421-431, 1997.

ALVES, V.G.; ANDRADE, M.J.B.; CORRÊA, J.B.D.; MORAES, A.R.; SILVA, M.V. Concentração de macronutrientes na parte aérea do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) em função da compactação e classes de solos. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 27, p. 44-53, 2003.

ARAÚJO, R.; GOEDERT, W.J.; LACERDA, M.P.C. Qualidade de um solo sob diferentes usos e sob cerrado nativo. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, Viçosa, v. 31, n.5, p. 1099-1108, 2007.

ARCOVERDE, S. N. S.; SOUZA, C. M. A.; ORLANDO, R.C.; SILVA, M.M.; NASCIMENTO, J.M. Crescimento inicial de cultivares de cana-de-açúcar em plantio de inverno sob preparos conservacionistas do solo. **Revista Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 27, n. 2, p. 142-156, 2019a.

ARCOVERDE, S. N. S.; SOUZA, C. M. A.; SUAREZ, A. H. T.; COLMAN, B. A.; NAGAHAMA, H. J. Atributos físicos do solo cultivado com cana-de-açúcar em função do preparo e época de amostragem. **Revista de Agricultura Neotropical**, Cassilândia, v. 6, n.1, p. 41-47, 2019b.

BALIGAR, V. C. Influence of crop growth on ionic equilibria, selectivity and diffusion of cations in soil. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.16, p.163-178, 1985.

BENGOUGH, A. G.; YOUNG, I. M. Root elongation of seedling peas through layered soil of different penetration resistances. **Plant and Soil**, v. 149, p. 129-139, 1993

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

BONFIM-SILVA, E. M. et al. Compactação do solo na cultura do trigo em Latossolo do cerrado. **Enciclopédia Biosfera**, v. 7, n. 12, 2011.

BORGES, E.N.; LOMBARDI NETO, F.; CORRÊA, G.F.; BORGES, E.V.S.; COSTA, L.M. Acúmulo de N e P na parte aérea da soja após compactação superficial e aplicação de gesso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 22, n. 1, p. 127-133, 1998.

BORGES, E.N.; NOVAIS, R.F.; BARROS, N.F.; COSTA, L.M. E NEVES, J.C.L. Respostas de mudas de eucalipto em camadas compactadas de solo. **Revista Árvore**, v. 10, p. 181-195, 1986.

BORGES, E.N.; NOVAIS, R.F.; BARROS, N.F.; REGAZZI, A.J. E FERNANDES, B. Respostas de variedades de soja à compactação de solo. **Revista Ceres**, v. 35, p. 553-568, 1987.

BRIGNOLI, F. M.; DE SOUZA JUNIOR, A. A., GRANDO, D. L.; MUMBACH, G. L.; PAJARA, F. F. D Atributos biométricos da soja influenciados pelo nível de ph do solo. **Revista Científica Rural**, v. 22, n. 2, p. 13-28, 2020.

CABRAL, C.E.A.; BONFIM SILVA, E.; BONELLI, E.A.; SILVA, T.J.A.; CABRAL, C.H.A.; SCARAMUZZA, W.L.M.P. Compactação do solo e macronutrientes primários na *Brachiaria brizantha* cv. Piatã e *Panicum maximum* cv. Mombaça. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**, v.16, n.4, p.362-367, 2012.

CAMARGO, O.A.; ALLEONI, L.R.F. **Compactação do solo e o desenvolvimento das plantas**. Piracicaba, SP: ESALQ, 1997. 132p.

CAMARGO de, O. A.; ALLEONI, L.R.F. **Efeitos da compactação em atributos do solo**. 2006. <http://www.infobibos.com/Artigos/CompSolo/C4/Comp4.htm>. Acesso em: 23/4/2021.

CARNEIRO, M.A.C.; SOUZA, E.D.; REIS, E.F.; PEREIRA, H.S.; AZEVEDO, W.R. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo de cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.33, n.1, p. 147-157, 2009.

CARVALHO, M.A.C; ALTHAYDE, M.L.F.; SORATTO, R.P; ALVES, M.C.; ARF, O. Soja em sucessão a adubos verdes no sistema de plantio direto e convencional em solo de Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, p. 1141-1148, 2004.

CATTELAN, A. J.; DALL'AGNOL, A. The rapid soybean growth in Brazil. **Embrapa Soja-Artigo em periódico indexado (ALICE)**, 2018.

CERETTA, C.A. et al. Nitrogen fertilizer split-application for corn in no-till succession to black oats. **Scientia Agricola**, v. 59, p. 549-554, 2002.

CISOJA – **Centro de Inteligência da Soja. Sobre soja – Histórico**. 2009. Disponível em:<<http://www.cisoja.com.br/>>. Acesso em: 19 dez. 2020.

COLOMBO, G. A.; LOPES, M. B. S.; DOTTO, M. C.; CAMPESTRINI, R.; DE OLIVEIRA LIMA, S. Atributos físicos de um latossolo vermelho-amarelo distrófico sob diferentes sistemas de manejo no cerrado tocantinense. **Campo Digital**, v. 12, n. 1, 2017.

CORNISH, P.S.; SÓ, H.B.; MCWILLIAM, J.R. Effects of soil bulk density and water regime on root growth and uptake of phosphorus by ryegrass. **Journal of Agricultural Research**, Melbourne, v. 35, p. 631-644, 1984.

COSTA, J.P.V.; BARROS, N.F.; BASTOS, A.L.; ALBUQUERQUE, A.W. Fluxo difusivo de potássio em solos sob diferentes níveis de umidade e de compactação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.13, n.1, p.56-62, 2009.

COSTA, M.J.; JUNIOR, E.J.R.; ROSA, Y.B.C.; SOUZA, L.C.F.; ROSA, C.B.J. Atributos químicos e físicos de um Latossolo sendo influenciados pelo manejo do solo e efeito da gessagem. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v.29, p. 701-708, 2007.

DALL'AGNOL, A. **A Embrapa Soja no contexto do desenvolvimento da soja no Brasil: histórico e contribuições**. Brasília: Embrapa, 2016.

DE MARIA, I.C.; CASTRO, O.M.; SOUZA DIAS, H. Atributos físicos do solo e crescimento radicular de soja em Latossolo Roxo sob diferentes métodos de preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.23, p. 703-709, 1999.

DERPSCH, R.; SIDIRAS, N.; ROTH, C.H. Results of studies made from 1977 to 1984 to control erosion by cover crops and tillage techniques in Paraná, Brazil. **Soil and Tillage Research**. v. 8, p. 253-263, 1986.

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

DONAGEMMA, G. K.; CAMPOS, D. V. B. de; CALDERANO, S. B.; TEIXEIRA, W. G.; VIANA, J. H. M. (Org.). **Manual de métodos de análise de solos**. 2.ed. rev. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 230p. (Embrapa Solos. Documentos, 132).

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).

DOS SANTOS, H. G. et al. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília, DF: Embrapa, 2018., 2018.

EKWUE, E. I.; STONE, R. J. Organic matter effects on strength properties of compacted agricultural soils. **Transactions of the ASAE**, Joseph, v.38, n.2, p.357-367, 1995.

EMBRAPA. **Tecnologias de Produção de Soja – Região Central do Brasil**. Londrina: Embrapa Soja, 2013. 268p. (Embrapa Soja. Sistemas de Produção, n.16).

EMBRAPA. **Tecnologias de Produção de Soja: Região Central do Brasil 2012 e 2013**. Sistemas de Produção, n. 15. Londrina: Embrapa Soja, 2011.

EMBRAPA. **Correção e manutenção da fertilidade**. In: *TECNOLOGIAS de produção de soja – Região Central do Brasil, 2005*. Londrina: Embrapa Soja, 2004. p. 57-80.

ESCHER, F.; WILKINSON, J. A economia política do complexo Soja-Carne Brasil-China1. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 57, p. 656-678, 2019.

FALLEIRO, R.M.; SOUZA, C.M.; SILVA, C.S.W.; SEDIYAMA, C.S.; SILVA, A.A.; FAGUNDES, J.L. Influência dos sistemas de preparo nas propriedades químicas e físicas do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 6, 2003.

FAVARATO, L. F.; SOUZA, J. L.; GALVÃO, J. C. C.; DE SOUZA, C. M.; GUARÇONI, R. C. Atributos químicos do solo sobre diferentes plantas de cobertura no sistema plantio direto orgânico. **Brazilian Journal of Sustainable Agriculture**, v.5, n.b2, 2015.

FIETZ, C. R. et al. **O clima da região de Dourados, MS**. 3. ed. rev. e atual. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2017. 34 p. (Documentos, 138).

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

FREDDI, O.S.; CENTURION, J.F.; BEUTLER, A.N.; ARATANI, R.G. E LEONEL, C.L. Compactação do solo no crescimento radicular e produtividade da cultura do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 627-636, 2007.

FURLANI, C. E. A. **Efeito do preparo do solo e do manejo da cobertura de inverno na cultura do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.)**. 2000. 218 f. Tese (Doutorado em Energia na Agricultura) Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2000.

GILIOLI, J. L. et al. Soja: Série 100. FT-Sementes, Cristalina, Goiás. 18 p. **Boletim Técnico**, v. 3, 1995.

GOMES, M. A.; FILIZOLA, H. F. **Indicadores físicos e químicos de qualidade do solo de interesse agrícola**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2006.

KLUTHCOUSKI, J.; STONE, L. F. **Manejo sustentável dos solos dos Cerrados**. In: KLUTHCOUSKI, J.; STONE, L. F.; AIDAR, H. Integração lavoura-pecuária. Santo Antônio de Goiás: Embrapa, 2003. p. 61-104.

LEMOS FILHO, L.C.A.L.; OLIVEIRA, E.L.; FARIA, M.A.; ANDRADE, L.A.B. Variação espacial da densidade do solo e matéria orgânica em área cultivada com cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.). **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v.39, p. 193-202, 2008.

LIMA, C.L.R. **Compressibilidade de solos versus intensidade de tráfego em um pomar de laranja e pisoteio animal em pastagem irrigada**. 2004. 70p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Departamento de Solos e Nutrição de Plantas, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP.

LOPES, A.S. **Reserva de minerais potássicos e produção de fertilizantes potássicos no Brasil**. In: YAMADA, T.; ROBERTS, T.L. Potássio na agricultura brasileira. Piracicaba, Potafos, 2005. p.21-32.

MAEHLER, André Roberto et al. Qualidade de grãos de duas cultivares de soja em função da disponibilidade de água no solo e arranjo de plantas. **Ciência Rural**, v. 33, p. 213-218, 2003.

MARSCHNER, H. **Marschner's mineral nutrition of higher plants**. Academic press, 2011. 651p.

MATTÉ, M. F. et al. **Absorção de N, P, K por plantas de soja em solo sob variação de compactação**. 2019.

MAUAD, M.; SILVA, T. L. B.; ALMEIDA NETO, A. I.; ABREU, V. G. Influência da densidade de semeadura sobre características agronômicas na cultura da soja. **Revista Agrarian**, Dourados, v. 3, n. 9, p. 175-181, 2010.

MEDEIROS, R. D.; SOARES, A. A.; GUIMARÃES, R. M. Compactação do solo e manejo da água. I: Efeitos sobre a absorção de N, P, K, massa seca de raízes e parte aérea de plantas de arroz. **Ciência e Agrotecnologia**, v.29, p.940 - 947, 2005.

MELLO, G.; BUENO, C.R.P.; PEREIRA, G.T. Variabilidade espacial das propriedades físicas e químicas em áreas intensamente cultivadas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 10, b. 2, p. 294-305, 2006.

MEURER, E.J. Potássio. In: Fernandes MS (ed.) **Nutrição mineral de Plantas**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo: Viçosa. p.281-298, 2006.

MEURER, E.J. **Fundamentos de Química do Solo**. 6a ed. Porto Alegre: Departamento de Solos - UFRGS; 2015.

MIRANSARI, M.; BAHRAMI, H.A; REJALI, F.; MALAKOUTI, M.J. Effects of soil compaction and arbuscular mycorrhiza on corn (*Zea mays* L.) nutrient uptake. **Soil and Tillage Research**, v.103, n.2, p.282-290, 2009.

MORAES, E. R.; DOMINGUES, L. A. S.; MEDEIROS, M. H.; PEIXOTO, J. V. M.; LANA, R. M. Q. Produtividade e características agronômicas da cana-de-açúcar em diferentes sistemas de preparo do solo. **Revista de Agricultura Neotropical**, Cassilândia, v. 3, n. 1, p. 27–32, 2016.

NAVARRO, G.R.B.; ZANARDO, A.; MONTIBELLER, C.C.; LEME, T.G. **Livro de referência de minerais comuns e economicamente relevantes: Sulfatos**. Museu de Minerais, Minérios e Rochas: 2017.

NYE, P. H.; TINKER, P. B. **Solute movement in the soil-root system**. Berkeley: University of California Press, 1977. 342p.

OHLAND, T.; LANA, M. C.; FRANDOLOSO, J.F.; RAMPIM, L.; BERGMANN, J.R.; CABREIRA, D.T. Influência da densidade do solo no desenvolvimento inicial do pinhão-mando cultivado em Latossolo Vermelho eutroférico. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 61, n.5, p. 622-630, 2014.

OLIVEIRA, C.V.; BAHIA, V.G.; PAULA, M.B. Compactação do solo devido à mecanização florestal: causas, efeitos e práticas de controle. **Informe Agropecuário**, v. 191, p. 46-48, 1998.

OLIVEIRA, D.M.S.; LIMA, R.P.; VERBURG, E.E.J. Qualidade física do solo sob diferentes sistemas de manejo e aplicação de dejetos líquido suíno. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.19, n.3, p.280–285, 2015.

ORZOLEK, M. D. Establishment of vegetables in the field. **Hort Technology**, v.1, p.78-81, 1991.

OUSSIBLE, M.; CROOKSTON, R. K.; LARSON, W. E. Subsurface compaction reduces the root and shoot growth and grain yield of wheat. **Agronomy Journal**, v.84, p.34-38, 1992.

PAVINATO, P. S.; ROSOLEM, C. Disponibilidade de nutrientes no solo - decomposição e liberação de compostos orgânicos de resíduos vegetais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, p. 911-920, 2008.

PEREIRA, R.G.; ALBUQUERQUE, A.W.; SOUZA, R.O.; SILVA, A.D.; SANTOS, J.P.A.; BARROS, E.S.; MEDEIROS, P.V.Q. Sistemas de manejo do solo: Soja (*Glycine max* (L.)] Consorciada com *Brachiaria decumbens* (STAPF). **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 41, n. 1, p. 44-51, 2011.

PIRES, J.L.F.; SOPRANO, E.; CASSOL, B. Adaptações morfofisiológicas da soja em solo inundado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, n. 1, p. 41-50, 2002.

PUPIN, B. **Propriedades microbiológicas do solo alteradas por compactação**. 2008. 75f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista Campus de Jaboticabal, Jaboticabal – SP.

RAIJ, B. van.; CANTARELA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2.ed. Campinas, Instituto Agrônomo de Campinas, Fundação IAC, 1997. 285p.

REICHERT, J.M.; SUZUKI, L.E.A.S.; REINERT, D.J. Compactação do solo em sistemas agropecuários e florestais: identificação, efeitos, limites críticos e mitigação. **Tópicos em ciência do solo**, v. 5, p. 49-134, 2007.

REIS, G.N., BIZZI, A. C., FURLANI, C.A., FURLANI, C.E.A., SILVA, R.P.S., LOPES, A., GROTTA, D.C.C. Avaliação do desenvolvimento da cultura da soja (*Glycinemax* (L) Merrill) sob diferentes sistemas de preparo. **Ciência e Agrotecnologia**. v.31, n.1, p. 228-235, 2007.

RIBEIRO, M. A. V.; NOVAIS, R. F.; FAQUIN, V.; FERREIRA, M. M.; NETO, A. E. F.; LIMA, J. M.; VILLANI, E. M. A. Resposta da soja e do eucalipto ao aumento da densidade do solo e a doses de fósforo. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, Viçosa, v. 34, n. 4, p. 1164-1164, 2010.

RICHART, A.; PICCIN, A. L.; KONOPATZKI, M. R. S.; KAEFER, K. A. C.; MORATELLI, G.; KAEFER, J. E.; ECCO, M. Análise espaço-temporal de atributos químicos do solo influenciados pela aplicação de calcário de cloreto de potássio em taxa variável. **Scientia Agraria Paranaensis**, Marechal Cândido Rondon, v. 15, n. 4, p. 391-400, 2016.

ROSCOE, R.; GITTI, D. C. Manejo e Fertilidade do solo para a cultura da soja. **Tecnologia e produção de soja**, v. 2014, p. 16-44, 2013.

RUTKOWSKA, B; SZULC, W.; HOCH, M.; SPYCHAJ-FABISIAK, E. Forms of Al in soil and soil solution in a long-term fertilizer application experiment. **Soil Use and Management**, v. 31, n. 1, p. 114-120, 2015.

SÁ, J.C.M. Reciclagem de nutrientes dos resíduos culturais, e estratégia de fertilização para a produção de grãos no sistema plantio direto. In: SEMINÁRIO SOBRE O SISTEMA PLANTIO DIRETO NA UFV, 1., Viçosa, 1998. **Resumo das palestras**. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1998. p.19-61.

SALTON, J. C.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; BOENI, M.; CONCEIÇÃO, P. C.; FABRÍCIO, A. C.; MACEDO, M. C. M.; BROCH, D. L. Agregação e estabilidade de agregados do solo em sistemas agropecuários em Mato Grosso do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 1, p. 11-21, 2008.

SANTIAGO, A.; QUITERO, J. M.; DELGADO, A. Long-term effects of tillage on the availability of iron, copper, manganese, and zinc in a Spanish Vertisol. **Soil & Tillage Research**, Seville, v. 98, n. 2, p. 200-207, 2008.

SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. de; ARAUJO FILHO, J. C. de; OLIVEIRA, J. B. de; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2018. <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/181677/1/SiBCS-2018-ISBN-9788570358172.epub>

SANTOS, O. F.; SOUZA, H. M.; OLIVEIRA, M. P.; CALDAS M. B.; ROQUE C. G. Propriedades químicas de um Latossolo sob diferentes sistemas de manejo. **Revista de Agricultura Neotropical**, Cassilândia, v. 4, n. 1, p. 36-42, 2017.

SANTOS, T.L. Soja. In: CASTRO, P.R.C.; FLUGE, R.A.; SESTARI, I. **Manual de Fisiologia Vegetal: Fisiologia de Cultivos**. Piracicaba: Editora Agronômica Ceres, 2008, 864p.

SIDIRAS, N.; HENKLAIN, J.C.; DERPSCH, R. Comparison of three different tillage system with respect to aggregate stability, the soil and water conservation and the yields of soybean and wheat on an oxisol. In: CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL SOIL TILLAGE RESEARCH ORGANIZATION, 9., Osijek, 1982. **Anais... Osijek, ISTRO**, 1982. p.537-544.

SILBERBUSH, M.; HALLMARK, W. B.; BARBER, S. A. Simulation of effects of soil bulk density and P addition on K uptake of soybean. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 14, p. 287-296, 1983.

SILVA, C.C.; SILVEIRA, P.M. Influência de sistemas agrícolas em características químico-físicas do solo. **Ciência Agrotecnológica**, Lavras, v. 26, n.3, p. 505-515, 2002.

SILVA, F. C.; ABREU, M. F.; PÉREZ, D. V.; EIRA, P. A.; ABREU, C. A.; RAIJ, B.; GIANELLO, C.; COELHO, A. M.; QUAGGIO, J. A; TEDESCO, M. J.; SILVA, C. A.; SILVA, S.; EVELIZE, N.; MONTANARI, R.; PANOSSO, A. R.; CORREA, A. R.; TOMAZ, P. K.; FERRAUDO, A. S. Variabilidade de atributos físicos e químicos do solo e produção de feijoeiro cultivado em sistema de cultivo mínimo com irrigação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 39, n. 2, p. 598-607, 2015.

SILVA, S.B. **Análise de solos para ciências agrárias**. Belém: EDUFRA, 2018. 174p.

SILVA, S.R.; BARROS, N.F.; SOUZA, C.M. Fluxo difusivo de fósforo e zinco influenciados pela compactação de dois latossolos. **Revista Ceres**, Viçosa, v.55, p.619-624, 2008.

SOANE, B.D. **Process of soil compaction under vehicular traffic and means of alleviating it**. In: LAL, R.; SANCHEZ, P.A.; CUMMINGS, R.W. Land clearing and development in the tropics. Rotterdam: Balkema Publisher, 1986. p.265-297.

SOBRAL, L.F.; BARETO, M.C.; SILVA, A.J.; ANJOS, J.L. **Guia prático para interpretação de resultados de Análises de solo**. Embrapa Tabuleiros Costeiros: Aracaju, 2015 (Documentos 206).

SOUZA, L. S.; COGO, N. P.; VIEIRA, S. R. Variabilidade de propriedades físicas e químicas do solo em um pomar cítrico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.21, n.3, p.367-372, 1997.

SOUZA, M.A.; FAQUIN, V.; GUELFY, D.R.; OLIVEIRA, G.C.; BASTOS, C.E. Acúmulo de macronutrientes na soja influenciado pelo cultivo prévio do capim-marandu, correção e compactação do solo. **Revista Ciência Agronômica**, vl. 43, n. 4, p. 611-622, 2012.

TEDESCO, J. M; et al. **Análises de solo, plantas e outros materiais**. Departamento de solos, UFRGS: Boletim Técnico 5, Porto Alegre, 1995.

TEIXEIRA, Paulo César et al. Manual de métodos de análise de solo. **Brasília: Embrapa**, p. 573, 2017.

TOGNON, A.A.; DEMATTÊ, J.A.M.; MAZZA, J.A. Alterações nas propriedades químicas de latossolos roxos em sistemas de manejo intensivos e de longa duração. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 21, p. 271-278, 1997.

TORRES, E.; SARAIVA, O.F.; GALERANI, P.R. **Manejo do solo para a cultura da soja**. Londrina: Embrapa-CNPSO, 1993. 71 p. Circular técnica, 12.

USDA. **Notícias agrícolas: USDA**. Disponível em: <Relatórios do USDA e acompanhamento do mercado agrícola internacional - Notícias Agrícolas (noticiasagricolas.com.br)>. Acesso em: 19 dez. 2020.

VALADÃO, F. C. A., WEBER, O. L. S., VALADÃO JÚNIOR, D. D., SCAPINELLI, A., DEINA, F. R. E BIANCHINI, A. Adubação fosfatada e compactação do solo: sistema radicular da soja e do milho e atributos físicos do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, p. 243-255, 2015.

VALADÃO, F. C. DE A; WEBER, O. L. DOS S; VALADÃO JÚNIOR, D. D; SANTIN, M. F. M; SCAPINELLI, A. Teor de macronutrientes e produtividade da soja influenciados pela compactação do solo e adubação fosfatada, **Revista de Ciências Agrárias**, v. 40, n.1, p.183- 195, 2017.

VALICHESKI, R.R, GROSSKLAUS, F.; STÜRMER, S.L.K., TRAMONTIN, A.L.; BAADE, E.S.A.S. Desenvolvimento de plantas de cobertura e produtividade da soja conforme atributos físicos em solo compactado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola**. v.16, n.9, p.969-977, 2012.

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

ZAMBRANA, M.O.D.; RUIZ, H.A.; SILVA, T.C.A.; NEVES, C.L.N.; CORRÊA, G.F.; ERASO, M.H. A compactação de três materiais de solo, na redução da condutividade hidráulica, porosidade do solo e matéria seca de raiz nas culturas de soja e caupi. **Revista de Agronomia**, v. 27, n. 1, p. 74-84, 2010.