

UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS

**PRODUTIVIDADE DA SOJA INOCULADA COM
Bradyrhizobium E *Azospirillum* E ATRIBUTOS QUÍMICOS E
FÍSICOS DO SOLO EM SISTEMAS INTEGRADOS DE
PRODUÇÃO**

RICARDO FACHINELLI

**DOURADOS,
MATO GROSSO DO SUL
2022**

Produtividade da soja inoculada com *Bradyrhizobium* e *Azospirillum* e atributos químicos e físicos do solo em sistemas de produção

RICARDO FACHINELLI

Engenheiro Agrônomo

Orientador: Prof. Dr. GESSÍ CECCON

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

DOURADOS
MATO GROSSO DO SUL
2022

**PRODUTIVIDADE DA SOJA INOCULADA COM *Bradyrhizobium* E *Azospirillum* E
ATRIBUTOS QUÍMICOS E FÍSICOS DO SOLO EM SISTEMAS INTEGRADOS
DE PRODUÇÃO**

Por

Ricardo Fachinelli

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

Aprovada em: 25/02/2022

**Gessí
Cecon**
Assinado de forma digital por Gessí Cecon
[41] no-Gessí Cecon, ar-Embrapa,
[no-Embrapa]
[http-gessí.cecon@embrapa.br, c=BR
Data: 2023.04.26 11:26:00 -0300

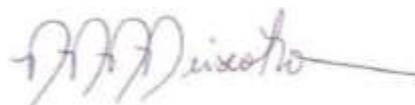
Prof. Dr. Gessí Cecon
Orientador – UFGD/Embrapa
(participação remota)

gov.br Documento assinado digitalmente
ALESSANDRA MAYUMI TOKIURA ALOVISI
Data: 24/04/2023 10:07:50 -0300
Verifique em <https://validar.ri.gov.br>

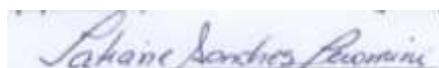
Prof^ª Dr^ª Alessandra Mayumi T. Alovisei
Membro da banca - UFGD/FCA
(participação remota)

gov.br Documento assinado digitalmente
SILVANA DE PAULA QUINTÃO SCALON
Data: 24/04/2023 17:26:43 -0300
Verifique em <https://validar.ri.gov.br>

Prof^ª Dr^ª Silvana de Paula Quintão
Membro da banca - UFGD/FCA
(participação remota)



Prof^ª Dr^ª Paula Pinheiro Padovese Peixoto
Membro da banca - UFGD/FCA
(participação remota)



Dr^ª Tatiane Sanches Jeromini
Membro da banca – BASF AS
(participação remota)

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP).

F139p Fachinelli, Ricardo

PRODUTIVIDADE DA SOJA INOCULADA COM Bradyrhizobium E Azospirillum E
ATRIBUTOS QUÍMICOS E FÍSICOS DO SOLO EM SISTEMAS INTEGRADOS DE
PRODUÇÃO [recurso eletrônico] / Ricardo Fachinelli. -- 2023.

Arquivo em formato pdf.

Orientador: Gessi Ceccon.

Tese (Doutorado em Agronomia)-Universidade Federal da Grande Dourados, 2022.

Disponível no Repositório Institucional da UFGD em:

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

1. Sistemas de cultivos. 2. fixação biológica do nitrogênio. 3. dessecação pré-plantio. I. Ceccon,
Gessi. II. 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.

“Não existe felicidade plena: mas a busca é constante.”

Gessi Ceccon

Aos meus amados pais **Marta Maria Boni Fachinelli** e **Domingos Fachinelli Filho** (*in memoriam*) que com amor incondicional me ajudaram em tudo e se empenharam para que eu alcançasse mais esta conquista.

Dedico

AGRADECIMENTOS

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão de suporte financeiro à pesquisa.

À Universidade Federal da Grande Dourados, UFGD, e ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Produção Vegetal, pela qualidade do curso e pela estrutura física, pela oportunidade de realização deste trabalho e aos seus professores pela contribuição à minha formação profissional.

À Embrapa Agropecuária Oeste, pela disponibilização da área experimental, dos equipamentos e materiais necessários para a condução da pesquisa.

Ao meu orientador Dr. Gessi Ceccon, pela oportunidade, confiança no meu trabalho, incentivo, estímulo e, principalmente, por todo conhecimento transmitido que foi fundamental à minha formação profissional e pessoal.

Aos funcionários da Embrapa Agropecuária Oeste, pelo auxílio nas atividades de campo.

À banca examinadora, pelas críticas, sugestões e correções para o aperfeiçoamento deste trabalho.

Em especial a minha equipe de trabalho, que se tornaram amigos e companheiros para todas as horas e que com muita paciência e atenção me acolheram e estiveram sempre dispostos a me ajudar e me apoiar em todas as fases do meu trabalho, sendo essenciais para minha conquista.

Muito obrigada a todos aqueles que confiaram e acreditaram em mim.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL.....	11
REFÊRENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	16

CAPÍTULO I

PRODUTIVIDADE DA SOJA INOCULADA COM *Bradyrhizobium* E *Azospirillum* EM ÉPOCAS DE DESSECAÇÃO DA BRAQUIÁRIA

RESUMO.....	19
ABSTRACT.	20
INTRODUÇÃO	21
MATERIAIS E MÉTODOS	22
RESULTADOS E DISCUSSÃO	26
CONCLUSÕES.....	33
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	34

CAPÍTULO II

ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO EM SISTEMAS INTEGRADOS DE PRODUÇÃO

RESUMO.....	37
ABSTRACT.....	38
INTRODUÇÃO	39
MATERIAL E MÉTODOS	40
RESULTADOS E DISCUSSÃO	43
CONCLUSÕES.....	51
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	52

CAPÍTULO III

ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO EM SISTEMAS INTEGRADOS DE PRODUÇÃO

RESUMO.....	55
ABSTRACT.....	56
INTRODUÇÃO	57
MATERIAL E MÉTODOS	58
RESULTADOS E DISCUSSÃO	61
CONCLUSÕES.....	71
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	72
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	76

PRODUTIVIDADE DA SOJA INOCULADA COM *Bradyrhizobium* E *Azospirillum* E ATRIBUTOS QUÍMICOS E FÍSICOS DO SOLO EM SISTEMAS INTEGRADOS DE PRODUÇÃO

Autor: Ricardo Fachinelli

Orientador: Prof. Dr. Gessí Ceccon

RESUMO: A busca por sistemas que intensifiquem o uso da área de produção, de forma a conservar os atributos do solo e que promovam a sustentabilidade do sistema e do ambiente de produção, tem sido um fator contribuinte para que a agricultura brasileira desponte em qualidade e produtividade. O objetivo deste trabalho foi avaliar a produtividade da soja inoculada e co-inoculada em sucessão a sistemas integrados de produção no outono-inverno com épocas de dessecação em pré semeadura da soja e o efeito das culturas de outono-inverno nos atributos químicos e físicos do solo. O estudo foi realizado na área experimental da Embrapa Agropecuária Oeste, em Dourados, MS, na safra verão de 2018-2019 em função de sistemas de cultivo implantados desde 2013. O delineamento experimental foi em blocos casualizados com parcelas sub-subdivididas, com 4 repetições. Nas parcelas foram alocados os nove sistemas de cultivo, com anos de pastagem: 5,5 4,5 3,5 2,5 1,5; sucessão soja milho safrinha, rotações com braquiária feijão-caupí e consórcio milho-braquiária no outono-inverno. As subparcelas foram compostas pelos métodos de inoculação via semente: 1) sem inoculação (testemunha), 2) inoculação com *Bradyrhizobium* e inoculação com *Bradyrhizobium japonicum* e *Azospirillum brasilense*. Nas sub-subparcelas foram consideradas duas épocas de dessecação da braquiária, aos 28 e 11 dias antes da semeadura da soja. Para os estudos dos atributos do solo, o delineamento experimental foi em blocos casualizados em parcelas subdivididas, sendo as parcelas os sistemas de cultivos já citados e as subparcelas as profundidades de 0,0 a 0,10; 0,10-0,20; 0,20-0,30 e 0,30-0,40 m, em camadas de 0,10 m. Os dados foram submetidos à análise de variância ($p \leq 0,05$) e as médias comparadas pelo teste de Tukey para comparações de tratamentos de inoculação e dessecação e Skott-Knott para comparar sistemas de produção. Observou-se que o menor intervalo entre a dessecação das culturas de outono-inverno e a semeadura da soja aumentam a eficiência da co-inoculação da soja com *Bradyrhizobium*+*Azospirillum*. Em sistemas de sucessão e rotação de cultivos em outono-inverno a dessecação antecipada promove aumento da produtividade da soja, enquanto a época de dessecação de pasto não interfere na produtividade da soja em sequência. Para os atributos do solo, observou-se que a utilização de pasto como alternativa de cultivo em outono-inverno não altera sua qualidade física, enquanto que, a rotação de culturas possibilita melhorias nos atributos físicos, melhorando principalmente a microporosidade. O cultivo de pasto em sucessão a soja por um período maior promove a manutenção da fertilidade do solo. A rotação de culturas incrementa os atributos químicos do solo, principalmente na camada superficial, sendo eficaz no processo de ciclagem de nutrientes.

Palavras-chave: Sistemas de cultivos, fixação biológica do nitrogênio, dessecação pré-plantio.

PRODUCTIVITY OF SOYBEAN INOCULATED WITH *Bradyrhizobium* AND COINOCULATED WITH *Azospirillum* AND CHEMICAL AND PHYSICAL ATTRIBUTES OF SOIL IN INTEGRATED PRODUCTION SYSTEM

Autor: Ricardo Fachinelli
Orientador: Prof. Dr. Gessi Ceccon

ABSTRACT: The search for systems that intensify the use of the production area, in order to preserve the attributes of the soil and that promote the system and the production environment, have been a contributing factor for Brazilian agriculture of quality and productivity. The work was to evaluate the productivity of soybean and co-inoculated in modification of these integrated systems of production in the autumn-winter with objectives of this culture of autumn-winter in the chemical and physical attributes of the soil. The study was carried out in the area of Embrapa Agropecuária Oeste, in the 2018-2019 experimental crop due to the cultivation of improvements. The new cropping systems were allocated to the plots, with pasture years: 5,5; 4,5; 3,5; 2,5; 1,5; soybean variety corn off-season, rotations with cowpea brachiaria and corn-brachiaria intercropping in autumn-winter. As subplots were composed by the methods of inoculation via seed: 1) without inoculation (control), 2) inoculation with *Bradyrhizobium* and inoculation with *Bradyrhizobium japonicum* and *Azospirillum brasilense*. In the sub-subplots, two times of desiccation of *Brachiaria* were considered, at 28 and 11 days before soybean sowing. For the studies of soil attributes, the experimental design was in randomized blocks in subdivided plots, the plots being the cropping systems already mentioned and the subplots depths from 0,0 to 0,40 m, in layers of 0,10 m. Data were submitted to analysis of variance ($p \leq 0,05$) and means were compared by Tukey test for comparisons of inoculation and desiccation treatments and Skott-Knott test to compare production systems. It was observed that the shorter interval between desiccation of autumn-winter crops and soybean sowing increases the efficiency of soybean co-inoculation with *Bradyrhizobium*+*Azospirillum*. In systems of succession and crop rotation in autumn-winter, early desiccation promotes an increase in soybean productivity, while the time of pasture desiccation does not interfere with soybean productivity in sequence. For soil attributes, it was observed that the use of pasture as an alternative for cultivation in autumn-winter does not change its physical quality, while crop rotation allows improvements in physical attributes, mainly improving microporosity. The cultivation of pasture in succession to soybean for a longer period promotes the maintenance of soil fertility. Crop rotation increases the chemical attributes of the soil, mainly in the surface layer, being effective in the nutrient cycling process.

Keywords: Crop systems, biological nitrogen fixation, pre-planting desiccation.

INTRODUÇÃO GERAL

A exploração agropecuária extensiva do Cerrado associada a manejos culturais inadequados tem causado a degradação do solo, o que prejudica a produtividade potencial da área de cultivo. A adoção de tecnologias de manejo cultural baseadas em sistemas conservacionistas, tem se mostrado eficientes para a sustentabilidade das atividades agropecuárias (MACEDO, 2009; VILELA et al., 2011).

Dentro dos sistemas conservacionistas de produção, práticas de cultivo baseadas na sustentabilidade são aplicadas a fim de potencializar o uso da terra, dentre eles a correção da fertilidade do solo, o sistema de plantio direto (SPD) e a rotação de culturas. Para Dong et al. (2015), estas práticas de cultivo conservacionista são aplicadas a fim de promover um cultivo sustentável e responsável, visando aumento da produtividade.

A aplicação de práticas conservacionistas em sistemas de cultivos integrados contribui para aumentar a produção de alimentos de forma sustentável, além de promover a qualidade do meio ambiente, preservar a biodiversidade de ecossistemas e evitar a abertura de novas áreas. Paralelo a isso, a produção integrada pode ser realizada de forma independente ou interagir em dimensões de tempo e espaço (MORAINE et al., 2016), apresentando cultivos solteiros ou consorciados, variando em rotações e épocas de implantações de sistemas, possibilitando incrementos produtivos, tanto a curto como a longo prazo.

Ao manejar um sistema integrado deve-se considerar as condições edafoclimáticas que irão reger a produção animal e vegetal, bem como planejar práticas agronômicas que possibilitem elevar a produtividade. Sinergicamente a isto, há de se considerar os manejos que incrementem a qualidade dos atributos do solo (MORAINE et al., 2016). Somando estas perspectivas a um manejo de longo prazo, teremos como resultado um sistema mais resiliente às mudanças climáticas através do incremento de cobertura vegetal e matéria orgânica no solo (ALTIERI et al., 2015)

Crusciol et al. (2016) relatam que, o monocultivo associado a culturas de cobertura na entressafra pode ser um sistema que promova a degradação das áreas agrícolas, e reforçam a importância de promover a rotação de culturas como forma de incrementar a matéria orgânica e melhorar os atributos físicos, químicos e biológicos do solo.

Assim, utilizar plantas com elevada taxa de crescimento e produção de matéria seca, resistência ao déficit hídrico e ao frio, com facilidade de manejo, sistema radicular vigoroso e profundo e elevada relação C/N são mais indicadas na rotação de culturas. Os restos vegetais que estas plantas proporcionam contribuem para retenção da umidade no solo e reduzem a taxa de evapotranspiração, o que possibilita produções mais regulares das culturas (SANTOS et al., 2012).

Plantas de cobertura com estas características promovem a manutenção da cobertura permanente do solo com uso, por exemplo, de culturas anuais ou pastagem, visando as culturas principais. Esse cenário possibilita, acima de tudo, a ciclagem de nutrientes o que favorece a exploração do perfil do solo pelas raízes, diminuindo processos erosivos e mantendo a estabilidade do sistema solo (CHIODEROLI et al., 2012).

Manejos com esses preceitos são fundamentais para a sustentabilidade da agricultura tropical, como no Cerrado, em que os solos são predominantemente ácidos, de baixa fertilidade e reduzida capacidade de troca catiônica (MORAES et al., 2014).

Embora o sistema de plantio direto promova o acúmulo de resíduos na superfície do solo, as culturas comerciais não produzem restos culturais suficientes, em peso e distribuição uniforme, para que essa cobertura persista ao longo do ano (MATEUS et al., 2016). Isto ocorre justamente pelas condições climáticas que promovem a rápida decomposição dessa matéria (PARIZ et al., 2011), o que reduz a eficiência do plantio direto no Cerrado.

Em áreas de sucessão com a soja, a cobertura vegetal formada por plantas de elevada relação C/N, como o consórcio milho-braquiária e a pastagem, apresentam redução dos níveis de infestação de plantas daninhas ao longo do tempo (CONCENÇO et al., 2013), reduzindo a competitividade intraespecíficas de plantas na área e gastos com tratamentos culturais para controle de plantas daninhas.

Para Moraes et al. (2019), manejos como o cultivo consorciado de milho-braquiária e gramíneas para pastagem como opção de culturas de outono-inverno, podem promover a cobertura do solo necessária para se obter maior sucesso em sistema de plantio direto ao longo do tempo. Ceccon et al. (2013) demonstram que sistemas de consórcio de milho com braquiária não afetam a produtividade de grãos e massa seca do milho e incrementam os resíduos vegetais deixados na superfície do solo, proporcionando ganhos na produtividade da soja e milho safrinha em sucessão.

Somado a esses fatores, destaca-se que nas regiões típicas de Cerrado as estações que compreendem o outono-inverno se caracterizam com a ocorrência de períodos secos e temperaturas amenas a frias, em algumas regiões, o que limita a produção agrícola e, também, a oferta de gramíneas para pastejo, tornando o arranjo de sistema integrado uma possibilidade alternativa para produção de grãos e pasto (MORAES et al., 2019). Sob esta perspectiva a utilização de sistema de plantio direto, rotação e diversificação de culturas, sistemas consorciados de cultivo e sistemas integrados de produção têm possibilitado a melhor utilização e maior produtividade das culturas em áreas de Cerrado, com a premissa de promover a conservação e a melhoria dos atributos químicos e físicos dos solos (MACEDO, 2009).

O uso de técnicas de manejo citadas acima promove a ciclagem de nutrientes proveniente da decomposição das culturas que podem restituir quantidades consideráveis de elementos aos cultivos subsequentes, uma vez que estes cultivos absorvem os nutrientes em camadas subsuperficiais e com sua decomposição os liberam na camada superficial do solo (BOER et al., 2007). Entretanto, o curto espaço de tempo entre a dessecação e a semeadura da soja pode ser prejudicada devido a liberação de aleloquímicos pela biomassa em decomposição e ao sombreamento excessivo sobre as plântulas da soja (SOUZA et al., 2006) sendo necessário programar o intervalo da dessecação das gramíneas cultivadas em outono-inverno para semeadura da soja.

Em sistemas integrados a época de dessecação das pastagens pode afetar o sistema de plantio, bem como, o desempenho agrônômico da soja em sucessão. Ricce et al (2011) destacam que implantar a cultura da soja em curto espaço de tempo à dessecação pode ocasionar problemas na implantação da lavoura, como estiolamento das plântulas e redução de stand, quando o resíduo em cobertura for abundante. Já Nascente e Crusciol (2012) destacam que o intervalo mais longo entre a dessecação e o plantio pode promover perdas de nutrientes da palhada, devido a decomposição, redução da cobertura do solo e aumento na infestação de plantas daninhas. Assim, encontrar um intervalo de tempo adequado entre a dessecação da cultura antecessora e a semeadura da soja se faz fundamental.

Esse intervalo entre dessecação e plantio pode ser variável entre as regiões de produção. Santos et al. (2014), enfatizam que a taxa de decomposição do resíduo e a liberação de nutrientes é altamente influenciada pelas condições de precipitação e temperatura do ambiente. Além desses fatores, deve-se considerar também, a grande

influência da quantidade de cada material de resto cultural, do tipo de solo, de sua fertilidade e do manejo adotado na área (MATOS et al., 2011; MARCELO et al., 2012).

Outro manejo empregado para o sucesso das produtividades alcançadas com o cultivo da soja brasileira é a inoculação da cultura com bactérias fixadoras de nitrogênio. Sendo um dos elementos nutricionais mais requeridos em quantidade pela soja. O nitrogênio é um componente estrutural da clorofila, enzimas e proteínas além de ser responsável por inúmeras reações metabólicas essenciais na cultura da soja (MARSCHNER, 2011).

A inoculação das sementes da soja com bactérias do gênero *Bradyrhizobium* irá promover praticamente todo o nitrogênio que a planta necessita durante seu ciclo (CHIBEBEA et al., 2004). Substituindo a adubação nitrogenada mineral, o que viabiliza elevadas produtividades com redução dos custos de produção (HUNGRIA et al., 2005). Em contrapartida, a eficiência deste processo pode ser afetada por fatores edafoclimáticos e práticas de manejo (ZILLI et al., 2010).

Além das bactérias do gênero *Bradyrhizobium*, outros microrganismos como os do gênero *Azospirillum*, bactérias promotoras de crescimento, podem proporcionar benefícios a cultura da soja, que por meio da produção de compostos sinérgicos aos fitormônios promovem alterações fisiológicas nas plantas, além de também serem capazes de fixar o nitrogênio (CASSÁN e SALAMONE, 2008).

A prática da co-inoculação é uma técnica que consiste em fazer a combinação de dois grupos de bactérias, uma do gênero *Bradyrhizobium* e outra do gênero *Azospirillum*, visando um maior desenvolvimento da planta e rendimento de grãos da cultura da soja. Estima-se que a inoculação com *Bradyrhizobium* aumente a produtividade da soja em torno de 8,4%, enquanto que a co-inoculação de *Bradyrhizobium* associado a *Azospirillum* incrementa em 16,1% a produtividade, em relação a cultura não inoculada (HUNGRIA e NOGUEIRA, 2014).

Essa estratégia de combinar gêneros de bactérias fixadoras de nitrogênio na cultura da soja, tem-se mostrado mais eficaz com o intuito de elevar a produtividade da cultura, devido tanto a fixação biológica do nitrogênio quanto a produção de fitormônios, que resulta em maior desenvolvimento radicular (HUNGRIA et al., 2015). Com o sistema de raízes mais abundante associado a manejos que promovam a qualidade dos atributos do solo, eleva-se o potencial de utilização eficiente da área. Efeitos positivos sobre a produtividade da soja com o emprego desta técnica são relatados por Schneider et al. (2017) e Galdino et al. (2018).

Neste contexto, o objetivo deste trabalho foi avaliar a produtividade da soja inoculada e co-inoculada, em sucessão e rotação de culturas, e cultivos integrados com pastagem em duas épocas de dessecação da braquiária para semeadura da soja e o efeito das culturas de outono-inverno nos atributos químicos e físicos do solo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALTIERI, M. A.; NICHOLLS, C. I.; HENAO, A.; LANA, M. A. Agroecology and the design of climate change-resilient farming systems. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 35; p. 869-890, 2015.

BOER, C. A.; ASSIS, R. L.; SILVA, G. P.; BRAZ, A. J. B. P.; BARROSO, A. L. L.; CARGNELUTTI FILHO, A.; PIRES, F. R. Ciclagem de nutrientes por plantas de cobertura na entressafra em um solo de cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, p. 1269-1276, 2007.

CASSÁN, F. D.; SALAMONE, I. G. *Azospirillum sp.*: cell physiology, plant interactions and agronomic research in Argentina. Buenos Aires: Asociación Argentina de Microbiología, 2008. 268 p.

CECCON, G.; BORGH, E.; CRUSCIOL, C. A. C. Modalidades e métodos de implantação do consórcio milho-braquiária. In: CECCON, G. **Consórcio Milho-Braquiária**. n. 1. Brasília: Embrapa, 2013. p. 27-46.

CHIBEBA, A. M.; GUIMARÃES, M. F.; BRITO, O. R.; NOGUEIRA, M. A.; ARAUJO, R. S.; HUNGRIA, M. Co-inoculation of soybean with *Bradyrhizobium* and *Azospirillum* promotes early nodulation. **American Journal of Plant Science**, v. 6, n. 10, p.1641-1649, 2015.

CHIODEROLI, C. A.; MELLO, L. M. M. de GRIGOLLI, P. J.; FURLANI, C. E. A.; SILVA, J. O. R.; CESARIN, A. L. Atributos físicos do solo e produtividade de soja em sistema de consórcio milho e braquiária. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 1, p. 37-43, 2012.

CONCENÇO, G.; CECCON, G.; CORREIA, I. V. T.; LEITE, L. F.; ALVES, V. B. Ocorrência de espécies daninhas em função de sucessões de cultivo. **Planta Daninha**, v. 31, n. 2, p. 359-368, 2013.

CRUSCIOL, C. A. C.; MARQUES, R. R.; CARMEIS FILHO, A. C. A.; SORATTO, R. P.; COSTA, C. H. M.; FERRARI NETO, J.; CASTRO, G. S. A.; PARIZ, C. M.; CASTILHOS, A. M. Annual crop rotation of tropical pastures with no-till soil as affected by lime surface application. **European Journal of Agronomy**, v. 80, p. 88 – 104, 2016.

DONG, F.; MITCHELL, P. D.; COLQUHOUN, J. Measuring farm sustainability using data envelope analysis with principal componentes: The case of Wisconsin cranberry. **Journal of environmental management**, v. 147, p. 175-183, 2015.

GALINDO, F. S.; TEIXEIRA FILHO, M. C. M.; BUZETTI, S.; LUDKIEWICZ, M. G. Z.; ROSA, P.; TRITAPEPE, C. A. Technical and economic viability of co-inoculation with *Azospirillum brasilense* in soybean cultivars in the Cerrado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 22, n. 1, p.51-56, 2018.

HUNGRIA, M.; FRANCHINI, J. C.; CAMPO, R. J.; GRAHAM, P. H. The importance of nitrogen fixation to soybean cropping in South America. In: WERNER, D.; NEWTON,

W. (Ed.). **Nitrogen fixation in agriculture, forestry, ecology and the environment**. Dordrecht: Springer, p.25-42, 2005.

HUNGRIA, M.; NOGUEIRA, M. A. Tecnologia De Coinoculação Rizóbios e *Azospirillum* em Soja e Feijoeiro. **Embrapa Soja**. Folder, 02/2014.

HUNGRIA, M.; NOGUEIRA, M. A.; ARAUJO, R. S. Soybean Seed Co-Inoculation with *Bradyrhizobium* spp. and *Azospirillum brasilense*: A New Biotechnological Tool to Improve Yield and Sustainability. **American Journal of Plant Sciences**, v. 6, n. 6, p.811-817, 2015.

LEITE, L. F. C.; FREITAS, R. C. A.; SAGRILO, E.; GALVÃO, S. R. S. Decomposição e liberação de nutrientes de resíduos vegetais depositados sobre Latossolo Amarelo no Cerrado Maranhense. **Revista Ciência Agronômica**, v. 41, p. 29-35, 2010.

MACEDO, M. C. M. Integração lavoura e pecuária: o estado da arte e inovações tecnológicas. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 38, p. 133-146, 2009.

MARCELO, A. V.; CORÁ, J. E.; FERNANDES, C. Sequências de culturas em sistema de semeadura direta. II. Decomposição e liberação de nutrientes na entressafra. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 36, p. 1568-1582, 2012.

MARSCHNER, H. **Mineral Nutrition of Higher Plants**. 3 ed. San Diego: Academic Press, 2011. 651 p.

MATEUS, G. P.; CRUSCIOL, C. A. C.; PARIZ, C. M.; BORGHI, E.; COSTA, C.; MARTELLO, J. M.; FRANZLUEBBERS, A. J.; CASTILHOS, A. M. Sidedress nitrogen application rates to sorghum intercropped with tropical perennial grasses. **Agronomy Journal**, v. 108, p. 433-447, 2016.

MATOS, E. S.; MENDONÇA, E. S.; CARDOSO, I. M.; LIMA, P. C.; FREESE, D. Decomposition and nutrient release of leguminous plants in coffee agroforestry systems. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 35, p. 141-149, 2011.

MORAES, A., CARVALHO, P.C.F., LUSTOSA, S.B.C., LANG, C.R., DEISS, L. Research on integrated crop-livestock systems in Brazil. **Revista de Ciências Agronomicas**, v. 45, p. 1024-1031, 2014.

MORAES, A.; CARVALHO, P. C. F.; CRUSCIOL, C. A. C.; LANG, C. R.; PARIZ, C. M.; DEISS, L.; SULC, R. M. Integrated Crop-Livestock Systems as a solutions facing the destruction of Pampa as Cerrado Biomes in South America by intensive monoculture systems. **Agroecosystem diversity**, p. 257-273, 2019.

MORAINE, M.; DURU, M.; THEROND, O. A social-ecological framework for analyzing and designing integrated crope livestock systems from farm to territory levels. **Renewable Agriculture and Food Systems**, v, 1; e. 14, 2016.

NASCENTE, A. S.; CRUSCIOL, C. A. C. Cover crops and herbicide timing management on soybean yield under no-tillage system. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, n. 2, p.187- 192, 2012.

PARIZ, C. M.; ANDREOTTI, M.; BUZETTI, S.; BERGAMASCHINE, A. F.; ULIAN, N. A.; FURLAN, L. C.; MEIRELLES, P. R. L.; CAVASANO, F. A. Straw decomposition of nitrogenfertilized grasses after intercropping with corn crop in irrigated integrated crop-livestock system. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 2029-2037, 2011.

RICCE, W. S.; ALVES, S. J.; PRETE, C. E. C. Época de dessecação de pastagem de inverno e produtividade de grãos de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, n. 10, p. 1220-1225, 2011.

SANTOS, F. C.; ALBUQUERQUE FILHO, M. R.; VILELA, L.; FERREIRA, G. B.; CARVALHO, M. C. S.; VIANA, J. H. M. Decomposição e liberação de macronutrientes da palhada de milho e braquiária, sob integração lavoura-pecuária no Cerrado baiano. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 38, p. 1855-1861, 2014.

SANTOS, S. S.; ESPÍNDOLA, J. A. A.; GUERRA, J. G. M.; LEAL, M. A. A.; RIBEIRO, R. L. D. Produção de cebola orgânica em função do uso de cobertura morta e torta de mamona. **Horticultura Brasileira**, v. 30, p. 549-552, 2012.

SCHNEIDER, F.; PANIZZON, L. C.; SORDI, A.; RESCHKE, C.; CERICATO, A.; KLEIN, C. Eficiência agrônômica da cultura da soja (*Glycine max* (L.) Merrill) submetida a coinoculação. **Revista scientia agraria**, v 18, n. 4, p.72-79, 2017.

SOUZA, L. S.; VELINI, E. D.; MARTINS, D.; ROSOLEM, C. A. Efeito alelopático de capimbraquiária (*Brachiaria decumbens*) sobre o crescimento inicial de sete espécies de plantas cultivadas. **Planta Daninha**, v. 24, n. 4, p. 657-658, 2006.

VILELA, L.; MARTHA JUNIOR, G. B.; MACEDO, M. C. M.; MARCHÃO, R. L.; GUIMARÃES JÚNIOR, R.; PULROLNIK, K.; MACIEL, G. A. Sistemas de integração lavoura-pecuária na região do Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, n. 10, p. 1127-1138, 2011.

ZILLI, J. É.; GIANLUPPI, V.; CAMPO, R. J.; ROUWS, J. R. C.; HUNGRIA, M. Inoculação da soja com *Bradyrhizobium* no sulco de semeadura alternativamente á inoculação de sementes. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, v. 34. 7p. 2010.

CAPÍTULO I

PRODUTIVIDADE DA SOJA INOCULADA COM *Bradyrhizobium* E *Azospirillum* EM ÉPOCAS DE DESSECAÇÃO DA BRAQUIÁRIA

RESUMO :A associação de técnicas como os manejos culturais, cobertura vegetal do solo, sistema de plantio direto e inoculação da soja com bactérias fixadoras de nitrogênio potencializam a produtividade da cultura da soja no Brasil. Assim, objetivou-se avaliar o efeito de culturas antecessoras com diferentes épocas de dessecação sobre a cultura da soja inoculada e co-inoculada. O estudo foi realizado no município de Dourados, MS com delineamento experimental em blocos casualizados com parcelas sub-subdivididas, em 4 repetições. Nas parcelas foram alocados os nove sistemas de cultivos de outono-inverno, Pasto 2013, Pasto 2014, pasto 2015, Pasto 2016, Pasto 2017, Pasto 2018, Milho solteiro, Feijão-caupí e consórcio milho-braquiária, com dimensões de 10 x 12,5 m cada parcela. As subparcelas foram compostas pelos métodos de inoculação via semente: 1) sem inoculação (testemunha), 2) inoculação com *Bradyrhizobium*, 3) inoculação com *Bradyrhizobium japonicum* e *Azospirillum brasilense*, com dimensões de 3,3+ x 10,0 m cada subparcela. Nas sub-subparcelas foram consideradas duas épocas de dessecação das culturas de inverno, aos 28 e 11 dias antes da semeadura da soja. A inoculação e a co-inoculação proporcionam maior massa de 100 grãos sem interferir na produtividade quando há um menor intervalo entre a dessecação das culturas antecessoras e a semeadura da soja. O maior intervalo entre a dessecação, de culturas de inverno em rotação e de pasto permanente, e a semeadura promove incremento produtivo na soja. Maiores intervalos entre a dessecação da cultura antecessora e a semeadura da soja aumentam a eficiência da inoculação da soja com *Bradyrhizobium*.

Palavras-chave: Co-inoculação, sistemas de cultivo, dessecação pré-semeadura.

PRODUCTIVITY OF SOYBEAN INOCULATED WITH *Bradyrhizobium* AND *Azospirillum* IN DESICCATION TIMES OF BRACHIARIA

ABSTRACT: The association of techniques such as crop management, soil vegetation cover, no-tillage system and soybean inoculation with nitrogen-fixing bacteria enhance the productivity of soybean crop in Brazil. Thus, the objective was to evaluate the effect of predecessor cultures with different times of desiccation on inoculated and co-inoculated soybean culture. The study was carried out in the city of Dourados, MS, with an experimental design in randomized blocks with sub-divided plots, in 4 replications. Nine autumn-winter cropping systems were allocated in the plots, Pasto 2013, Pasto 2014, Pasture 2015, Pasto 2016, Pasto 2017, Pasto 2018, Single corn, Cowpea and corn-brachiaria intercropping, with dimensions of 10 x 12 .5 m each plot. The subplots were composed by seed inoculation methods: 1) no inoculation (control), 2) inoculation with *Bradyrhizobium*, inoculation with *Bradyrhizobium japonicum* and *Azospirillum brasilense*, with dimensions of 3.30 x 10 m each subplot. In the sub-sub-plots, two seasons of desiccation of winter crops were considered, at 28 and 11 days before soybean sowing. Inoculation and co-inoculation provide greater weight of 100 grains without interfering with productivity when there is a shorter interval between desiccation of predecessor cultures and sowing of soybean. The longest interval between desiccation, winter crops in rotation and permanent pasture, and sowing promotes an increase in soybean yield. Longer intervals between desiccation of the predecessor crop and sowing of soybean increase the efficiency of inoculation of soybean with *Bradyrhizobium*.

Keywords: Co-inoculation, cropping systems, pre-seeding desiccation.

INTRODUÇÃO

De grande importância para a agricultura brasileira, a produção da cultura da soja na safra 2021/22 está estimada em 134 mil toneladas, com uma redução de três por cento da safra recorde registrada na última safra, a pesar da área cultivada ter sido quatro por cento superior em relação ao último ano. Essa redução na produtividade está ligada ao baixo índice pluviométrico que atingiu as regiões sul e sudeste do Brasil, impactando inclusive a região sudoeste de Mato Grosso do Sul, onde Dourados está localizada (USDA, 2022).

Em momentos de adversidades climáticas, em que ocorre a redução de produtividade, manejos que possibilitem manter elevadas produções, com a redução de custos, são essenciais para viabilidade da produção no campo. Somado a isso, sistemas de manejo que visam incrementar melhorias nos cultivos podem ser eficientes em mitigar efeitos adversos de clima quando não prolongados.

Tecnologias, como a inoculação da soja com bactérias fixadoras de nitrogênio e promotoras de crescimento vegetal, possibilitam incrementos na produtividade com redução de custos com adubação. Estudando doses de inoculações, Schneider et al. (2017) demonstraram aumento na margem líquida de lucro variando de 2,9 a 13,9% em relação a soja não inoculada.

O emprego de manejos culturais, proporcionados pelas culturas antecessoras (CAVALLI et al., 2018) e a cobertura vegetal (NEPOMUCENO et al., 2017) podem contribuir em maior produtividade na cultura subsequente. Além disso, implantar manejos como a rotação de culturas e integração lavoura-pecuária promovem a diversificação e melhorias na utilização da área.

Considerando a necessidade nutricional das plantas, uma alternativa para supri-las seria planejar o manejo de culturas e a dessecação das mesmas, visando coincidir a liberação de nutrientes a partir da decomposição do material vegetal com demanda nutricional da cultura sucessora (RICCE et al., 2011; SANTOS et al., 2014; FRANCHINI et al., 2015). De acordo com Costa et al. (2016), utilizar intervalos entre as dessecações das culturas antecessoras e a semeadura da soja, além de sincronizar a liberação e absorção dos nutrientes maximiza a eficiência da ciclagem dos nutrientes e do sistema.

Estudando épocas de dessecação de braquiária e sua liberação de nutrientes no cultivo da soja Werner et al. (2021) verificaram que, além de ocorrer variação temporal

na taxa de liberação dos nutrientes com distintas épocas de dessecação, a adubação na cultura também afeta na velocidade de liberação dos nutrientes da palha.

Os benefícios que a dessecação da cultura antecessora pode trazer ao sistema, em função da ciclagem de nutrientes, pode afetar a inoculação. Segundo Chagas Junior et al. (2016), o uso de glifosato pode causar efeito tanto nos nódulos como na soja, reduzindo a eficácia da tecnologia de inoculação frente ao fornecimento de nitrogênio para a cultura. Isso denota a importância do conhecimento e planejamento dos manejos adotados, a fim de promover maior eficiência do sistema.

Diante destas perspectivas, a presente pesquisa teve como objetivo avaliar o efeito de culturas antecessoras com diferentes épocas de dessecação sobre a cultura da soja inoculada e co-inoculada.

MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho foi realizado na área experimental da Embrapa Agropecuária Oeste, no município de Dourados, Mato Grosso do Sul, nas coordenadas geográficas 22°13'S e 54°48'W a 408 m de altitude. O clima da região é classificado como Am (Tropical Monçônico), segundo a classificação de Köppen, com verões quentes e invernos secos, temperaturas máximas observadas nos meses de dezembro e janeiro e temperaturas mínimas entre maio e agosto, coincidindo com chuvas excedentes na primavera - verão e déficit hídrico no outono – inverno (FIETZ et al., 2017). O solo da área experimental foi classificado como Latossolo Vermelho Distroférrico, textura muito argilosa (SANTOS, 2018).

Foi realizada análise dos atributos químicos do solo nas camadas 0,00-0,20 e 0,20-0,40 m e granulométrica do solo na camada de 0,00-0,10; 0,10-0,20; 0,20-0,30; 0,30-0,40 m de profundidade pelo Laboratório de Fertilidade e Física do Solo da Embrapa Agropecuária Oeste (Quadro 1) e os dados de precipitação e temperatura foram obtidos na Estação Meteorológica da mesma instituição (Figura 1).

Quadro 1. Análise química do solo realizada no início de experimento (2013) e proporção das partículas do solo da área de estudos obtidas em análise de frações granulométricas em laboratório. Dourados - MS, 2022

Profundidade (m)	pH	MO	P (resina)	H+Al	K	Ca	Mg	CTC	v%
	CaCl ₂	g dm ⁻³	mg dm ⁻³	-----mmol _c dm ⁻³ -----					
0,00-0,20	5,1	38	12,2	41	1	31	15	89	53
0,20-0,40	4,8	38	5,5	59	0,7	21	11	93	36

Camada (m)	Frações granulométricas			Textura
	Areia	Silte	Argila	
	-----g kg ⁻¹ -----			
0,00 - 0,10	140	364	496	Argilosa
0,10 - 0,20	114	222	663	Muito Argilosa
0,20 - 0,30	113	234	652	Muito Argilosa
0,30 - 0,40	105	244	651	Muito Argilosa

pH: potencial de hidrogênio; MO: matéria orgânica do solo; P: teor de fósforo no solo; H+Al: hidrogênio+alumínio no solo; K: teor de potássio no solo; Ca: teor de cálcio no solo; Mg: teor de magnésio no solo; CTC: capacidade catiônica; v%: saturação do solo por bases.

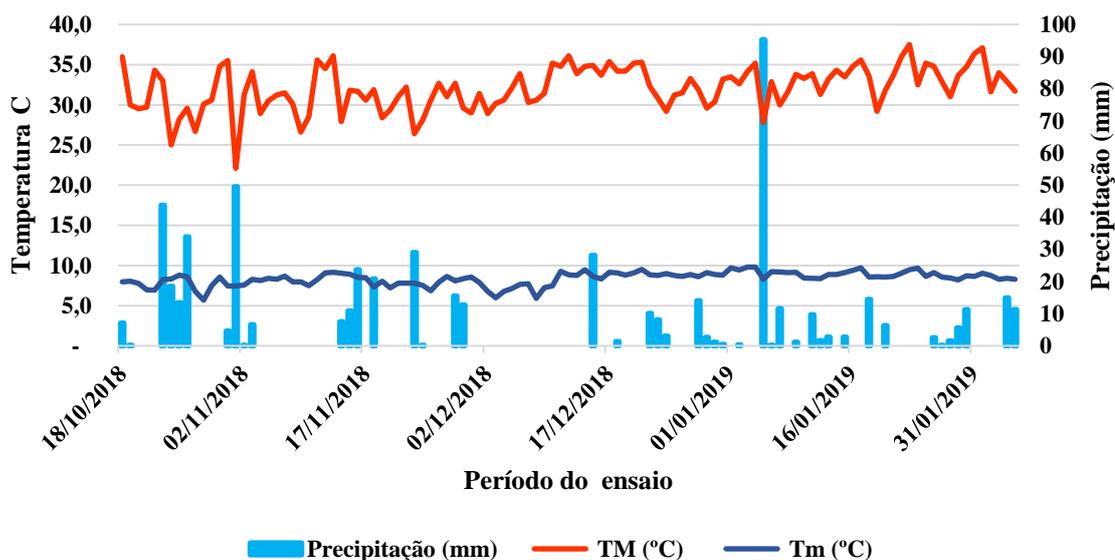


FIGURA 1. Dados de temperatura máxima e mínima e pluviosidade durante o cultivo da soja safra 2018/2019. Estação meteorológica EMBRAPA Agropecuária Oeste, Dourados - MS, 2022

A área utilizada possuía dois sistemas de cultivo, um de pasto permanente e outro de rotação de culturas. No sistema de pasto permanente, as áreas possuíam diferentes anos de implantação com *Brachiaria ruziziensis*, sendo o pasto implantado nos anos de 2013, 2014, 2015, 2016, 2017 e 2018. Já nas áreas de rotação de culturas foram cultivadas soja na safra de verão e uma rotação entre milho solteiro, milho consorciado e

feijão-caupí nas safras de inverno, sendo realizada adubação no processo de semeadura de acordo os resultados das análise de solo a fim de suprir necessidades da cultura (Quadro 2).

Quadro 2. Tratamentos utilizados na pesquisa. Dourados – MS, 2022

Tratamento/Ano	2013	13/14	2014	14/15	2015	15/16	2016	16/17	2017	17/18	2018	18/19
Sucessão soja/milho	Milho	Soja	Milho	Soja	Milho	Soja	Milho	Soja	Milho	Soja	Milho	Soja
Rotação 1	Cons.	Soja	Cons.	Soja	Cons.	Soja	Consó.	Soja	Pasto	Soja	Caupi	Soja
Rotação 2	Pasto	Soja	Pasto	Soja	Pasto	Soja	Pasto	Soja	Caupi	Soja	Cons.	Soja
Rotação 3	Caupi	Soja	Caupi	Soja	Caupi	Soja	Caupi	Soja	Cons.	Soja	Pasto	Soja
Pasto 1,5 anos	Caupi	Soja	Caupi	Soja	Caupi	Soja	Caupi	Soja	Pasto	Pasto	Pasto	Soja
Pasto 2,5 anos	Pasto	Soja	Pasto	Soja	Pasto	Soja	Pasto	Pasto	Pasto	Pasto	Pasto	Soja
Pasto 3,5 anos	Caupi	Soja	Caupi	Soja	Pasto	Pasto	Pasto	Pasto	Pasto	Pasto	Pasto	Soja
Pasto 4,5 anos	Milho	Soja	Pasto	Pasto	Pasto	Pasto	Pasto	Pasto	Pasto	Pasto	Pasto	Soja
Pasto 5,5 anos	Pasto	Pasto	Pasto	Pasto	Pasto	Soja						

Campo experimental localizado na EMBRAPA Agropecuária Oeste. Dourados, MS. 2022

O delineamento experimental foi em blocos casualizados em parcelas sub-subdivididas com 4 repetições. Nas parcelas foram alocados os nove sistemas de cultivos de outono-inverno Pasto estabelecido em 2013, 2014, 2015, 2016, 2017 e 2018, Milho solteiro, Feijão-caupí e consórcio milho-braquiária, com parcelas de 10,0 x 12,5 m. As subparcelas foram compostas pelos métodos de inoculação via semente: 1) sem inoculação (testemunha), 2) inoculação com *Bradyrhizobium japonicum* na dose de 100g/50 kg de semente da estirpe CPAC 15 (SEMIA 5079) e estirpe CPAC 7 (SEMIA 5080), contendo 7×10^9 unidades formadoras de colônia (UFC g⁻¹ do produto comercial) de inoculante líquido; 3) inoculação com *Bradyrhizobium japonicum* turfoso e *Azospirillum brasilense*, no sulco de semeadura (estirpes Ab-V5 e Ab-V6) com garantias de 2×10^8 UFC mL⁻¹, dimensões de 3,3 x 10,0 m cada subparcela. Nas sub-subparcelas foram alocadas duas épocas de dessecação das culturas de inverno, utilizando o herbicida glyphosate na dose 1,08 kg e. a. ha⁻¹, sendo realizadas aos 28 e 11 dias antes da semeadura da soja.

A semeadura da soja foi realizada no dia 15 de outubro de 2018, em plantio direto, utilizando a semeadora modelo SHM 15/17 SEMEATO®, com regulagem de 200 kg ha⁻¹ de fertilizante NPK, fórmula 04-20-20, e espaçamento de 0,5 m entre linhas, com população de 39 mil plantas por hectare e semeadas a 0,05 m de profundidade. A cultivar de soja utilizada foi a BRS 1003 IPRO ciclo precoce, tipo de crescimento indeterminado

e grupo de maturação relativa 6.3, flores roxas, pubescência cinza e sementes com hilo marrom-claro.

Na semeadura a sequência obedeceu a seguinte ordem: tratamento sem inoculante, seguido do tratamento somente com *B. japonicum*, e por último o tratamento com *B. japonicum* e *A. brasilense*, com o objetivo de evitar contaminação entre os tratamentos empregados. O controle de plantas daninhas foi realizado mediante uma aplicação de herbicida glifosate na dose de 1,4 g e. a. ha⁻¹ em pós-emergência da cultura, mais 0,40 g equivalente ácido ha⁻¹ de clorimuron-etil.

O controle de doenças foi realizado com duas aplicações de Trifloxistrobina + Protiocanazol (0,60+70 g i.a ha⁻¹) alternado com duas aplicações de Azoxistrobina + Benzovindiflupir (300+150 g i.a ha⁻¹). O controle de pragas foi realizado com duas aplicações de Imidacloprid com Beta-Ciflutrina (100+12,5 g i.a.ha¹) alternado com duas aplicações.

Em estágio de florescimento (R2) coletou-se uma amostra de 5 plantas de cada parcela e foram avaliadas as variáveis: altura de plantas, avaliada com régua milimetrada entre o colo da planta até a inserção do último trifólio; massa seca de folhas e hastes; com amostras secas em estufa de circulação de ar forçada até atingirem massa seca constate.

Também, foram coletados blocos de solo, com dimensões de 0,10 m de comprimento, 0,20 m de largura com centro na linha de plantio e 0,15 m de profundidade. Nesse volume de solo foi quantificado o número de nódulos existentes, bem como a massa seca das raízes e destes nódulos, com amostras secas em estufa de circulação de ar forçada até atingirem massa seca constate,

Na maturidade fisiológica das plantas foram coletadas 5 plantas de cada parcela e mensurados: altura de plantas, avaliada com régua milimetrada entre o colo da planta até a porção final da haste principal; contabilizados os números de vagens e hastes; massa seca da parte aérea, com amostras secas em estufa de circulação de ar forçada até atingirem massa seca constate e massa de 100 grãos com umidade de 13% a base seca. Para mensurar a produtividade da cultura, foram colhidas todas as plantas contidas nas três linhas centrais de cada parcela com cinco metros de comprimento, posteriormente os valores obtidos foram extrapolados para kg há⁻¹.

Os dados foram submetidos à análise de variância e quando significativas as médias foram comparadas pelo teste de Tukey e Scott-Knott para tratamentos de cultivos ($p < 0,05$).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nas avaliações realizadas no estágio R2 foram observados efeitos isolados para dessecações sobre altura, massa seca das folhas e das hastes das plantas de soja (Quadro 3). De forma geral, as plantas de soja cultivadas na área em que a dessecação foi realizada aos 28 dias antes da semeadura, observou-se maior crescimento em altura e maior acúmulo de matéria seca na parte aérea das plantas de soja.

QUADRO 3. Avaliações realizadas no estágio em R2 da soja em função das épocas de dessecação das culturas antecessoras. Dourados - MS, 2022

Dessecação	Altura de plantas (cm)	massa seca de folhas (g)	massa seca de hastes (g)
28 DAD	78,52 a	33,27 a	24,38 a
11 DAD	72,70 b	29,56 b	20,03 b
Média	76,59	32,03	22,93
CV (%)	9,48	21,36	24,97

DAD: Dias após a dessecação; Valores médios para altura, em centímetros, massa seca de folhas e hastes expressas em gramas, de cinco plantas. CV.: (%): Coeficiente de variação, em porcentagem. Médias seguidas por letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey $p < 0,05$.

O acúmulo de massa seca da parte aérea da soja associado a altura demonstram um potencial de desenvolvimento superior quando semeada em intervalo maior, 28 dias, da dessecação das culturas antecessoras, de forma a se recomendar um maior intervalo entre a dessecação e a semeadura da soja. De forma paralela, estudando a época de dessecação de *Urochloa* sp. em pré semeadura da soja, Passos et al (2016) verificaram aumento linear da área foliar e massa seca das plantas de soja com o incremento dos intervalos entre a época de dessecação e a semeadura da soja, apresentando valores máximos quanto dessecada 60 dias antes da semeadura.

Promover condições que acelerem o desenvolvimento inicial das plantas de soja faz com que o fechamento total de dossel seja mais acelerado, em função do elevado acúmulo de matéria seca da parte aérea, isto pode reduzir a infestação de plantas daninhas e redução da perda de água por evapotranspiração.

O número de nódulos (238), massa seca de nódulos (1,21 g) e massa seca de raízes (9,46 g) não apresentaram efeito das épocas de dessecação e das inoculações.

Avaliando a época de dessecação de braquiária em pré semeadura da soja, Nepomuceno et al. (2019) verificaram redução na massa seca dos nódulos, mas sem efeito no número de nódulos. Ao estudar o efeito do glifosato sobre a nodulação da soja, King et al. (2001) relataram que o herbicida aumentou o número e reduziu a massa dos nódulos da soja. Deste modo nota-se que, apesar do efeito do herbicida sobre o desenvolvimento dos nódulos ocorreu um aumento na infecção das raízes, podendo assim se equivalerem.

Bossolani et al. (2018) avaliaram o efeito de doses de glifosato em aplicação pós emergência da soja RR (31 DAS) e não encontraram efeito para número de nódulos entre plantas inoculadas e não inoculadas com *Bradyrhizobium*, o que denota redução da eficácia da infecção. Entretanto os autores verificaram que ocorre redução nas concentrações foliar de nitrogênio, altura de plantas e massa seca da parte aérea quando inoculadas, demonstrando que a eficiência da fixação biológica do nitrogênio não está diretamente relacionada ao número de nódulos, mas sim ao uso do glifosato em pós emergência para plantas de soja RR, bem como utilizar este produto para dessecação em períodos próximos ao plantio, como observados no quadro 3.

No presente trabalho, o menor período estudado, visando reduzir os potenciais efeitos do glifosato sobre a FBN, foi de 11 dias. Corroborando com Nepomuceno et al. (2012), em que o período ideal para dessecação da braquiária está entre 10 a 20 dias antes da semeadura, sendo observadas maiores efeitos do glifosato em intervalos menores.

Ao estudar o efeito de doses de glifosato 31 dias após a semeadura da soja inoculada com *Bradyrhizobium*, Zuffo et al. (2014) demonstraram que o glifosato reduz o número e a massa seca de nódulos, reduzindo a eficácia da inoculação. Entretanto, os solos do cerrado apresentarem estirpes naturais de bactérias fixadoras de nitrogênio. Ou seja, mesmo não realizando a inoculação com estirpes comerciais, as raízes da soja podem ser infectadas com BFN naturais sem, no entanto, apresentarem a mesma eficácia de fixação do nitrogênio das estirpes comerciais.

Outro fator que pode explicar a equivalência das médias de número e massa seca de nódulos para os tratamentos com inoculação é que não foi realizada adubação nitrogenada na semeadura da soja. Esse resultado foi observado em estudo conduzido por Hungria et al. (2006), em que concluíram haver redução do número e da eficiência de nódulos e do acúmulo de N na parte aérea da soja com a aplicação de 30 kg ha⁻¹ de N.

As avaliações realizadas na maturidade fisiológica da soja demonstraram que as épocas de dessecação causaram efeitos na altura de plantas e massa de 100 grãos

(Quadro 4). Foi observado que o menor intervalo de tempo entre a dessecação e a semeadura da soja promoveu aumento na altura média final da soja, o que pode ser um fator favorável no momento da colheita mecanizada. Entretanto, a massa média de 100 grãos foi superior com maior intervalo entre a dessecação e a semeadura da soja, sendo favorável a produtividade da cultura.

QUADRO 4. Altura (cm) das plantas de soja na maturação fisiológica e massa de 100 grãos (M100, em g) em função das épocas de dessecação das culturas antecessoras. Dourados -MS, 2022

Dessecação	Altura (cm)	M100 (gramas)
28 DAD	100,6 b	9,37 a
11 DAD	102,6 a	9,05 b
Média	101,6	9,21
C.V. (%)	6,69	10,1

C.V. (%): Coeficiente de variação em porcentagem. Médias seguidas por letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey $p < 0,05$.

A liberação de nutrientes da palha contribui para o bom desenvolvimento da cultura sequente, entretanto a velocidade de liberação de nutrientes depende da cultura antecessora e do regime hídrico local (SANTOS et al., 2014). Conhecer o tempo de meia vida de liberação de nutrientes associada a época de dessecação da cultura antecessora, pode contribuir para o fornecimento de nutrientes nos estádios de requerimento da soja.

Ao avaliar a decomposição e liberação de nutrientes de culturas antecessoras para soja, Cavalli et al. (2018) verificaram que a liberação de 50% de potássio é de 16, 21 e 31 dias para os cultivos de braquiária, consórcio e milho, enquanto a de liberação de 50% de nitrogênio é de 44, 47 e 99 dias para o consórcio, braquiária e milho, respectivamente. Com isso, pode-se prever que, a dessecação das culturas próximo a semeadura da soja proveria um aporte nutricional significativo diretamente para soja, em relação a dessecação com intervalos de tempos maiores que 20 dias entre dessecação e semeadura, possibilitando um melhor desenvolvimento da soja e incrementos na massa de grãos.

Estudos sobre meia vida e liberação de nutrientes da palhada de culturas antecessoras demonstram que cada elemento possui uma taxa de liberação variada. Santos et al. (2014) demonstram uma taxa de meia vida é de 128 e 73 dias para N e os demais nutrientes, respectivamente, para o consórcio de milho com braquiária ruzizienses. Ao avaliar a meia vida de N nas culturas braquiária e braquiária consorciada com milheto, Leite et al. (2010) verificaram ser de 93 e 90 dias. Desta forma, manejar a dessecação da

cultura antecessora visando coincidir a liberação de nutrientes com a máxima exigência nutricional da cultura subsequente é uma alternativa para gerar lucros com a redução da adubação na semeadura, como nos resultados obtidos que, independente da cultura antecessora, a soja apresentou maior massa de 100 grãos quando a dessecação ocorreu 28 dias antes da semeadura da soja.

Quando analisadas as médias para as inoculações com bactérias FBN observou-se efeito significativo isolado sobre os números de vagens e número de hastes de soja (Quadro 5). A inoculação com *Bradyrhizobium* potencializou incremento nos números de vagens e hastes, em relação a testemunha e não diferiu da co-inoculação com *Bradyrhizobium* + *Azospirillum*.

QUADRO 5. Número de vagens e hastes das plantas de soja em função da inoculação realizada na semeadura. Dourados - MS, 2022

Inoculação	Número de Vagens	Número de Hastes
Sem inoculação	274,04 b	2,02 b
<i>Bradyrhizobium</i>	304,66 a	2,35 a
<i>Bradyrhizobium</i> + <i>Azospirillum</i>	289,88 ab	2,19 ab
Média	289,53	2,19
C.V. (%)	23,94	36,43

C.V. (%): Coeficiente de variação em porcentagem. Médias seguidas por letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey $p < 0,05$.

Estes resultados corroboram com Meert et al. (2020), que ao avaliarem a inoculação e a co-inoculação na cultura da soja, verificaram que ambas foram superiores a ausência de inoculante, porém sem diferirem entre si, além de observarem que não houve diferença significativa para número de nós reprodutivos. Trabalhando com formas e doses de inoculação, Braccini et al. (2016) demonstraram que a inoculação com *Bradyrhizobium*, líquido ou turfoso, foi superior a ausência ou a co-inoculação, e também evidenciaram que o aumento das doses de inoculantes reduzem o número de vagens e a produtividade da soja.

A menor altura das plantas de soja foi observada quando cultivadas com 11 DAD e sem inoculação (97,97 cm). A inoculação com *Bradyrhizobium* aos 11 DAD apresentou valores intermediários de altura de plantas (101,29 cm), não diferindo das sementes co-inoculadas com *Bradyrhizobium* + *Azospirillum* (102,25 cm). Com isso, nota-se que na ausência a inoculação há o efeito das épocas de dessecação, de modo que as plantas cultivadas com a dessecação da cultura antecessora próxima a semeadura da soja apresentaram redução de altura final. As médias para altura de plantas cultivadas

com dessecação aos 28 dias antes da semeadura não diferiram entre si para as inoculações estudadas (Quadro 6).

QUADRO 6. Altura (cm), Massa seco da parte aérea (MSPA, em g) e Massa de 100 grãos (P100, em gramas) das plantas de soja, na maturação fisiológica da cultura, em função das inoculações e das épocas de dessecação das culturas antecessoras. Dourados - MS, 2022

Inoculação	Altura (cm)		MSPA (Kg ha ⁻¹)		MG100 (g)	
	Semeadura		Semeadura		Semeadura	
	28 DAD	11 DAD	28 DAD	11 DAD	28 DAD	11 DAD
Sem Inoculação	104,26 aA	97,97 b B	3.641 b A	3.930 a A	9,5 a A	8,75 b B
<i>Bradyrhizobium</i>	102,52 a A	101,29 ab A	4.333 aA	4.055 a A	9,39 a A	8,87 b B
<i>Bradyrhizobium</i> + <i>Azospirillum</i>	101,02 a A	102,55 a A	3.529 b B	4.151 a A	9,21 a A	9,52 a A
Média	101,6		98,61		9,21	
C.V. (%)	6,69		23,92		10,1	

Altura média das plantas, expressa em centímetros, massa seca da parte aérea (MSPA), expressa em quilogramas por hectare, massa de 100 grãos (MG100) a 13% de umidade em base seca, expresso em gramas. C.V. (%): Coeficiente de variação em porcentagem. DAD: Dias após a dessecação. Médias seguidas por letras minúsculas iguais não diferem entre si para inoculações. Médias seguidas por letras maiúsculas iguais não diferem entre si para inoculações e médias seguidas por letras maiúsculas iguais não diferem entre si as épocas de dessecação pelo teste de Scott-Knott $p < 0,05$.

Não houve efeito das inoculações para massa seca da parte aérea da soja semeada aos 11 dias após da dessecação. O intervalo da dessecação aos 28 dias antes da semeadura da soja demonstrou que o acúmulo de matéria seca da parte aérea é superior quando as plantas são inoculadas com *Bradyrhizobium* em relação as demais.

A massa de 100 grãos foi superior quando a dessecação ocorreu 28 dias antes da semeadura, sem diferir nas inoculações estudadas. Em dessecação tardia, 11 DAD, os menores valores observados para massa de 100 grãos ocorreram quando a soja não foi inoculada e quando inoculada com *Bradyrhizobium*, quando co-inoculada, com *Bradyrhizobium*+*Azospirillum*, ocorreu aumento de 7,45 %, em média, da massa de grãos, em relação aos outros tratamentos de inoculação. Com os resultados obtidos pode-se dizer que o menor período entre a dessecação e a semeadura reduziu a produtividade da soja não inoculada e inoculada com *Bradyrhizobium*, ou seja o menor período entre dessecação e semeadura da soja reduz o desempenho produtivo da soja e a eficiência da inoculação com *Bradyrhizobium*.

Em divergência aos resultados encontrados, ao estudar o efeito épocas de dessecação da *Uruchloa ruziziensis* sobre a soja em sucessão, Franchini et al. (2015) demonstraram que a massa de 100 grãos e a produtividade total da soja não apresentaram

alterações com intervalos entre dessecação do pasto e semeadura da soja, variando entre 8 e 35 dias.

Estudando épocas de dessecação com glifosato em pós semeadura de soja inoculada, Bossolani et al. (2018), observaram que os intervalos de dessecações estudados não interferiram na eficiência da inoculação com *Bradyrhizobium* para a altura da soja, massa seca da parte aérea e massa de cem grãos. Entretanto a inoculação com *Bradyrhizobium* potencializou o desenvolvimento destes parâmetros em relação ao não uso desta biotecnologia, qualquer que seja a época de dessecação pós semeadura, indicando que a não interferência do produto sobre a inoculação.

Um fator que possa ter afetado a eficiência da inoculação com *Bradyrhizobium* associado a semeadura da soja com 11 dias depois da dessecação, seria um potencial efeito do herbicida na eficácia da inoculação na soja, refletido na redução da massa de grãos.

Efeito das doses de glifosato em dessecação pré-plantio no acúmulo de nutrientes e morfologia das plantas de soja são relatados por Petter et al. (2016), que verificaram a redução tanto da absorção de macro como a de micronutrientes. Os autores destacam a redução do acúmulo de ferro e zinco e do o volume e massa seca das raízes. Como a enzima nitrogenase, presente no *Bradyrhizobium* para a FBN, tem o ferro e o molibdênio como elementos ativadores (HUNGRIA et al., 2005), pode-se inferir que a redução da absorção de ferro reduz a eficiência da FBN e, conseqüentemente, o potencial produtivo da soja.

Houve interação para produtividade da soja em função dos cultivos antecessores e as épocas de dessecação (Quadro 7). Em relação as épocas de dessecação, a soja foi mais produtiva no tratamento com 1,5; 2,5; 4,4 e 5,5 anos de pasto semeada aos 11 DAD, sem diferir de todos os tratamentos semeados aos 28 DAD. Para as rotações de culturas e sucessão soja-milho quando antecipada a dessecação, 28 DAD, há maior produtividade em relação a estes tratamentos em dessecação tardia, 11 DAD, sendo que para a dessecação do pasto também ocorreu a redução da produtividade da soja em dessecação 11 DAD, quando cultivado a 3,5 anos.

QUADRO 7. Produtividade da soja em função das culturas antecessoras e épocas de dessecação. Dourados - MS, 2022

Cultivos	Produtividade (kg ha ⁻¹)			
	Dessecação			
	28 DAD	11 DAD		
Sucessão Soja/Milho	3.809	b A	2.968	c B
Rotação 1	4.075	a A	3.578	b B
Rotação 2	3.387	b A	2.913	c B
Rotação 3	4.137	a A	3.310	b B
Pasto 1,5 anos	3.386	b A	3.606	b A
Pasto 2,5 anos	3.682	b A	3.482	b A
Pasto 3,5 anos	4.136	a A	3.602	b B
Pasto 4,5 anos	4.125	a A	4.188	a A
Pasto 5,5 anos	3.865	b A	4.247	a A
Média			3.694	
C.V. (%)			13,32	

Rotação 1: braquiária; feijão-caupí; consórcio milho-braquiária; Rotação 2: consórcio milho-braquiária; braquiária; feijão-caupí Rotação 3: feijão-caupí; consórcio milho-braquiária; braquiária. C.V. (%): Coeficiente de variação, em porcentagem. DAD: Dias após a dessecação. Médias seguidas da mesma letra, maiúscula na linha, épocas de dessecação, e minúscula na coluna, sistemas de cultivo, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott $p < 0,05$.

As maiores produtividades da soja semeada aos 28 DAD foram observadas nas rotações de culturas 1 e 3 e a pasto cultivados a 3,5 e 4,5 anos. Em relação a dessecação tardia, a soja em sucessão ao pasto implantado a 4,5 e 5,5 anos apresentaram as maiores médias de produtividade, sendo as menores produtividades da soja observadas em sucessão a soja-milho e no sistema de rotação 2.

Estudando a cultura da soja em função das épocas de dessecação da braquiária em dois locais, Nepomuceno et al. (2012) verificaram que a dessecação próxima ou no dia da semeadura reduziu número de vagens, de grãos por vagem e a produtividade da soja. Os autores relatam que é possível ter ocorrido liberação de compostos alelopáticos logo após a dessecação da braquiária, o que explicaria as reduções com dessecação próximas ao dia da semeadura e a quantidade de material de cobertura.

Para Flauzino et al (2018), que estudara inoculações na soja em sucessão a cultivos de inverno, verificaram que as inoculações não afetaram a produtividade da soja, quando inoculada e co-inoculada após cultivos de inverno, corroborando com os resultados encontrados. Entretanto os autores relatam efeito das culturas sendo que a soja em sucessão a rotações finalizando com feijão-caupí apresentou as menores médias, o que diverge dos resultados encontrados neste estudo.

Os resultados encontrados para a produtividade da soja em relação as épocas de dessecação, em partes, corroboram com estudo apresentado por Debiasi e Franchini (2012) que relataram que a redução da produtividade da soja cultivada em sucessão a

Uruclhoa brizantha em intervalos mais curtos entre a dessecação e a semeadura da soja. A cobertura vegetal de braquiária pode apresentar respostas diferentes dependendo da espécie, uma vez que apresentam relação C:N diferenciadas, conseqüentemente, a taxa de decomposição é variável e pode afetar de diversas formas a cultura subsequente, seja pela reposição de nutriente ou pela cobertura do solo.

CONCLUSÕES

A dessecação tardia, 11 DAD, das culturas de outono-inverno promove redução do desenvolvimento da cultura da soja.

O menor intervalo entre a dessecação das culturas de outono-inverno e a semeadura da soja aumentam a eficiência da co-inoculação da soja com *Bradyrhizobium*+*Azospirillum*

Em sistemas de sucessão e rotação de cultivos em outono-inverno a dessecação antecipada promove aumento da produtividade da soja, enquanto a época de dessecação de pasto não interfere na produtividade da soja em sequência.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BOSSOLANI, J. W.; POLONI, N.; LAZARINI, E.; BETTIOL, J. V. T.; FISCHER FILHO, J. A.; NEGRISOLI, M. M. Development of RR soybean in function of glyphosate doses and *Bradyrhizabium* inoculation. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. V. 22, n. 12, p. 854-858, 2018.
- BRACCINI, A. L.; MARIUCCI, G. E. G.; SUZUKAWA, A. K.; LIMA, L. H. S.; PICCININ, G. G. Co-inoculação e modos de aplicação de *Bradyrhizobium japonicum* e *Azospirillum brasilense* e adubação nitrogenada na nodulação das plantas e rendimento da cultura da soja. **Scientia Agraria paranaenses**, v. 15, n. 1, p.27-35, 2016.
- CAVALLI, E.; LANGE, A.; CAVALLI, C.; BEHLING, M. Decomposition and release of nutrients from crop residues on soybean-mayza cropping systems. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 13, n. 2, e5527, 2018.
- CHAGAS JUNIOR, A. F.; REIS, M. R. DOS; SANTOS, G. R. DOS; ERASMO, E. A. L.; CHAGAS, L. F. B. Nodulação e micorrização de soja transgênica após aplicação de glyphosate. Semina: **Ciências Agrárias**, v.34, p.3675-3682, 2013.
- COSTA, C. H. M.; CRUSCIOL, A. C.; SORATTO, R. P.; FERREIRA NETO, J.; MORO, E. Nitrogen fertilization on palisadegrass: phytomass decomposition and nutrients release. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 46; n. 2, p. 159-168, 2016.
- DEBIASI, H.; FRANCHINI, J. C. Atributos físicos do solo e produtividade da soja em sistema de integração lavoura-pecuária com braquiária e soja. **Ciência Rural**, v. 42, p. 1180-1186, 2012.
- FIETZ, C. R.; FISCH, G. F.; COMUNELLO, E.; FLUMIGNAN, D. L. **O clima da Região de Dourados, MS**. 3. ed. rev. e atual. - Dourados, MS: Embrapa Agropecuária Oeste, 2017. 31 p. (Documentos 138 - Embrapa Agropecuária Oeste).
- FLAUZINO, D. S.; RIBEIRO, L. M.; CECCON, G. Soja associada a inoculação e coinoculação de *Bradyrhizobium* e *Azospirillum* após cultivos de outono-inverno. **Revista de Agricultura Neotropical**, v. 5, n. 1, p. 47-53, 2018.
- FRANCHINI, J. C.; BALBINOT JUNIOR, A. A.; DEBIASI, H.; CONTE, O. Desempenho da soja em consequência de manejo de pastagem, época de dessecação e adubação nitrogenada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 50, n. 12, p. 1131-1138, dez. 2015.
- HUNGRIA, M.; FRANCHINI, J. C.; CAMPO, R. J.; CRISPINO, C. C.; MORAES, J. Z.; SIBALDELLI, R. N. R.; MENDES, I. C.; ARIHARA, J. Nitrogen nutrition of soybean in Brazil: contributions of biological N₂ fixation and N fertilizer to grain yield. **Canadian Journal of Plant Science**, v.86, p.927-939, 2006.
- HUNGRIA, M.; FRANCHINI, J. C.; CAMPO, R. J.; GRAHAM, P. H. The importance of nitrogen fixation to soybean cropping in South America. In: WERNER, D.; NEWTON, W. (Ed.). **Nitrogen fixation in agriculture, forestry, ecology and the environment**. Dordrecht: Springer, p.25-42, 2005.

KING, A. C.; PURCELL, L.; VORIES, E. A. Plant growth and nitrogenase activity of glyphosate-tolerant soybean in response to foliar glyphosate applications. **Agronomy Journal**, v. 93, p. 179-86, 2001.

LEITE, L. F. C.; FREITAS, R. C. A.; SAGRILO, E.; GALVÃO, S. R. S. Decomposição e liberação de nutrientes de resíduos vegetais depositados sobre Latossolo Amarelo no Cerrado Maranhense. **Revista Ciência Agronômica**, v. 41; p. 29-35, 2010.

MEERT, L.; MULLER, M. M. L.; GENÚ, A. M.; ESPÍNDULA, J. S.; ARAGÃO, G. N.; FIGUEIREDO, A. S. T. Diferentes inoculantes, formas de inoculação e seus efeitos sobre a características agronômicas da cultura da soja. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 10, e2969108499, 2020.

NEPOMUCENO, M. P.; SILVA, B. P.; GIANCOTTI, P. R. F.; PEREIRA, F. C. M.; ALVES, P. L. C. A. Urochloa ruziziensis desiccation, straw quantity and position on nodulation and production of soybean 'M-SOY 7908 RR'. **Planta Daninha**. V. 37; e019166586, 2019.

NEPOMUCENO, M. P.; VARELA, R. M.; ALVES, P. L. C. A.; MARTINS, J. V. F. Períodos de dessecação de *Urochloa ruziziensis* e seu reflexo na produtividade da soja RR. **Planta Daninha**. V. 30, n. 3, p. 557-65, 2012.

NEPOMUCENO, M.; CHINCHILLA, N.; VARELA, R. M.; MOLINILLO, J. M.; LACRET, R.; ALVES, P. L.; MACIAS, F. A. Chemical evidence for the effect of glyphosate-resistant soybeans. **Pest Management Science**, v. 75, n. 10, p. 20-25, 2017. PASSOS, J. N. N.; BALBINOT JUNIOR, A. A.; WERNER, F.; FERREIRA, A. S.; FRANCHINI, J. C.; DEBIASI, H. Jornada acadêmica da Embrapa Soja, ed. 13, p. 75-82, **Documentos 401**, 275 p, 2018.

PETTER, F. A.; ZUFFO, A. M.; ALCANTARA NERO, F.; PACHECO, L. P.; ALMEIDA, F. A.; ANDRADE, F. R.; ZUFFO JUNIOR, J. M. Effect of glyphosate and water stress on plant morphology and nutrient accumulation in soybean. **Australian Journal of Crop Science**. V. 10, n. 2, p. 251-257, 2016.

RICCE, W. S.; ALVES, S. J.; PRETE, C. E. C. Época de dessecação de pastagem de inverno e produtividade de grãos de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, n. 10, p. 1220-1225, 2011.

SANTOS, F. C.; ALBUQUERQUE FILHO, M. R.; VILELA, L.; FERREIRA, G. B.; CARVALHO, M. C. S.; VIANA, J. H. M. Decomposição e liberação de macronutrientes da palhada de milho e braquiária, sob interação lavoura-pecuária no cerrado baiano. **Revista Brasileira de Ciências do solo**, v. 38, p. 1855-1861, 2014.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; ARAUJO FILHO, J. C.; OLIVEIRA, J. B.; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**, 5 ed. Brasília, DF: Embrapa, 2018.

SCHNEIDER, F.; PANIZZON, L. C.; SORDI, A.; RESCHKE, C.; CERICATO, A.; KLEIN, C. Eficiência agronômica da cultura da soja (*Glycine max* (L.) Merrill) submetida a coinoculação. **Revista scientia agraria**, v 18, n. 4, p.72-79, 2017.

USDA. United States Department of Agriculture. Global market analysis – World Agriculture Production. Circular Series. WAP 12-21. 2021. 39 p. Disponível em: <https://www.fas.usda.gov/data/world-agricultural-production> .

WERNER, F.; BALBINOT JUNIOR, A. A.; FERREIRA, A. S.; OLIVEIRA JUNIOR, A.; FRENCHINI, J. C.; DEBIASI, H.; COELHO, A. E.; AGUIAR E SILVA, M. A. Liberação de cálcio, magnésio e enxofre da palha de pastagem de braquiária para a soja em sistema de integração lavoura-pecuária. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 20, n. 1, 2021.

ZUFFO, A. M.; PETTER, F. A.; NOBREGA, J. C. A.; PACHECO, L. P. ALCANTARA NETO, F.; ANDRADE, F. R. Microbiological attributes in a latosoil in glyphosate application under water deficit conditions. **African Journal of Agricultural Research**. V. 9, n. 32, p. 2495-2505, 2014.

CAPÍTULO II

ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO EM SISTEMAS INTEGRADOS DE PRODUÇÃO

RESUMO: Os sistemas de manejo de culturas afetam diretamente a organização estrutural do solo, sobretudo em sistema de plantio direto, assim é possível destacar a importância de práticas conservacionistas nos sistemas, principalmente em sistemas integrados de produção. Sob estas perspectivas, este trabalho objetivou avaliar os atributos físicos do solo cultivado com soja em sistemas de cultivo outono-inverno. O delineamento experimental foi em blocos casualizados em parcelas sub-subdivididas com 4 repetições. Nas parcelas foram alocados os nove sistemas de cultivos de outono-inverno, ou seja, Pasto 2013, Pasto 2014, pasto 2015, Pasto 2016, Pasto 2017, Pasto 2018, Milho solteiro, Feijão-caupí e consórcio milho-braquiária, com dimensões de 10 x 12,5 m cada parcela. As subparcelas foram compostas pelas quatro profundidades de solo avaliadas 0,00 - 0,10 m, 0,10 – 0,20 m, 0,20 – 0,30 m e 0,30 – 0,40 m de profundidade. Foi determinada a densidade do solo (DS), macroporosidade (Ma), microporosidade (Mi) e porosidade total (PT). Após a colheita da soja, também foram coletados blocos de solo para realizar o Diagnóstico Rápido da Estrutura do Solo (DRES). A utilização de pasto como alternativa de cultivo em outono-inverno não altera a qualidade física do solo e a rotação de culturas neste período possibilita melhorias nos atributos físicos do solo. O consórcio milho braquiária cultivado em outono-inverno ao longo dos anos, reduz a densidade do solo e melhora os parâmetros de macro, microporos e porosidade total do solo, sendo um cultivo indicado para implantação de outono-inverno para produção de grãos e pasto.

Palavras-chave: Física do solo, sistemas integrados, diagnóstico rápido da estrutura do solo.

PHYSICAL ATTRIBUTES OF THE SOIL IN AN INTEGRATED PRODUCTION SYSTEM

ABSTRACT: Crop management systems directly affect the structural organization of the soil, especially in no-tillage system, so it is possible to highlight the importance of conservation practices in the systems, especially in integrated production systems. Under these perspectives, this work aims to evaluate the effects of autumn-winter cropping systems, in succession to soybeans, submitted to no-tillage on the physical quality of the soil. The experimental design was in randomized blocks in sub-subdivided plots with 4 replications. Nine autumn-winter cropping systems were allocated in the plots, that is, Pasto 2013, Pasto 2014, Pasto 2015, Pasto 2016, Pasto 2017, Pasto 2018, Single corn, Cowpea and corn-signal intercropping, with dimensions of 10 x 12.5 m each plot. The subplots were composed by the four evaluated soil depths 0.00 - 0.10 m, 0.10 - 0.20 m, 0.20 - 0.30 m and 0.30 - 0.40 m of depth. Soil density (DS), macroporosity (Ma), microporosity (Mi) and total porosity (PT) were determined. After the soybean harvest, blocks of soil were also collected to carry out the Rapid Soil Structure Diagnosis (DRES). The use of pasture as an alternative for cultivation in autumn-winter does not change the physical quality of the soil and crop rotation in this period allows for improvements in the physical attributes of the soil. The Brachiaria corn consortium cultivated in autumn-winter over the years, reduces soil density and improves the parameters of macro, micropores and total porosity of the soil, being a suitable crop for the implementation of autumn-winter for grain and pasture production.

Keywords: Soil physics, integrated systems, rapid soil structure diagnosis.

INTRODUÇÃO

A busca pela produtividade das áreas agrícolas associada a manejos sustentáveis tem sido um desafio para a agricultura brasileira. Sistemas de cultivo com base no revolvimento do solo, baixa diversidade de plantas e baixos investimentos, sobretudo em áreas com pastagens, são os principais fatores que acarretam na redução da qualidade do solo (BONETTI et al., 2018), conduzindo a compactação, erosão e redução da matéria orgânica do solo (LANDERS et al., 2021).

Frente a isso, atingir produtividades elevadas para suprir as necessidades alimentares crescentes da população, o uso de manejos produtivos sustentáveis, a fim de evitar a degradação dos solos e otimizar os recursos naturais, possibilita uma agricultura mais eficiente.

Um dos sistemas produtivos com maior destaque na conjunção produtiva e conservacionista é o sistema de plantio direto (SPD), devido, principalmente ao não revolvimento do solo, o que proporciona o acúmulo de resíduos vegetais de culturas comerciais ou de pastagens, sobre o solo. Esta palhada em cobertura promove um ambiente favorável tanto para a manutenção quanto para a recuperação dos atributos químicos e físicos do solo (MENDONÇA et al., 2013).

Entretanto, o SPD quando não implantado de forma adequada, por vezes, torna-se ineficaz na manutenção da qualidade atributos do solo, uma vez que, devido a rentabilidade econômica, tem-se realizado o cultivo em sucessão soja-milho, que associado ao uso de máquinas na área, retoma o processo de degradação do solo (FREITAS e LANDERS, 2014). O consórcio milho-braquiária torna-se uma alternativa para inserção de culturas neste sistema. Ribeiro et al. (2019) destacam que o uso da braquiária consorciada com o milho em outono-inverno potencializa os efeitos sobre incrementos positivos na porosidade e densidade do solo.

Em paralelo, o sistema de integração lavoura-pecuária (SILP) tem destaque na agricultura atual, uma vez que alterna espécies forrageiras para a alimentação animal com culturas destinadas a produção de grãos (MAIA et al., 2014). Além de otimizar o uso da terra, este sistema atua na recuperação de áreas degradadas e melhora a qualidade físicas do solo, promovendo melhorias na infiltração de água, agregação e aeração do solo (FLAVIO NETO et al., 2015).

Os sistemas de manejo de culturas afetam diretamente a organização estrutural do solo, sobretudo em SPD, é possível destacar a importância de práticas

conservacionistas nos sistemas. Para Flavio Neto et al. (2015) o uso de braquiária, que apresenta sistema radicular abundante, promove melhorias no condicionamento da física do solo. O SILP contribui para a melhoria da qualidade do solo, por indicadores em processos biológicos (BORGES et al., 2019), químicos (LAROCA et al., 2018) e físicos (ZAGO et al., 2019).

A combinação entre estes sistemas conservacionistas visando produtividades elevadas tem sido um diferencial da agricultura brasileira frente as adversidades atuais. Entretanto, ainda são necessários estudos para que estes sistemas sejam cada vez mais produtivos e eficientes, potencializando a produção brasileira. Sob estas perspectivas, este trabalho objetivou avaliar os atributos físicos do solo cultivado com soja em sistemas de cultivo outono-inverno.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado na área experimental da Embrapa Agropecuária Oeste, no município de Dourados, Mato Grosso do Sul, nas coordenadas geográficas 22°13'S e 54°48'W a 408 m de altitude. O clima da região é classificado como Am (Tropical Monçônico), segundo a classificação de Köppen, com verões quentes e invernos secos, temperaturas máximas observadas nos meses de dezembro e janeiro e temperaturas mínimas entre maio e agosto, coincidindo com chuvas excedentes na primavera - verão e déficit hídrico no outono – inverno (FIETZ et al., 2017). O solo da área experimental é classificado como Latossolo Vermelho Distroférrico, textura muito argilosa (SANTOS, 2018).

Os dados de precipitação e temperaturas máximas e mínimas registradas durante o cultivo da soja na safra 2018/19 foram obtidos na Estação Meteorológica da Embrapa Agropecuária Oeste (Figura 1).

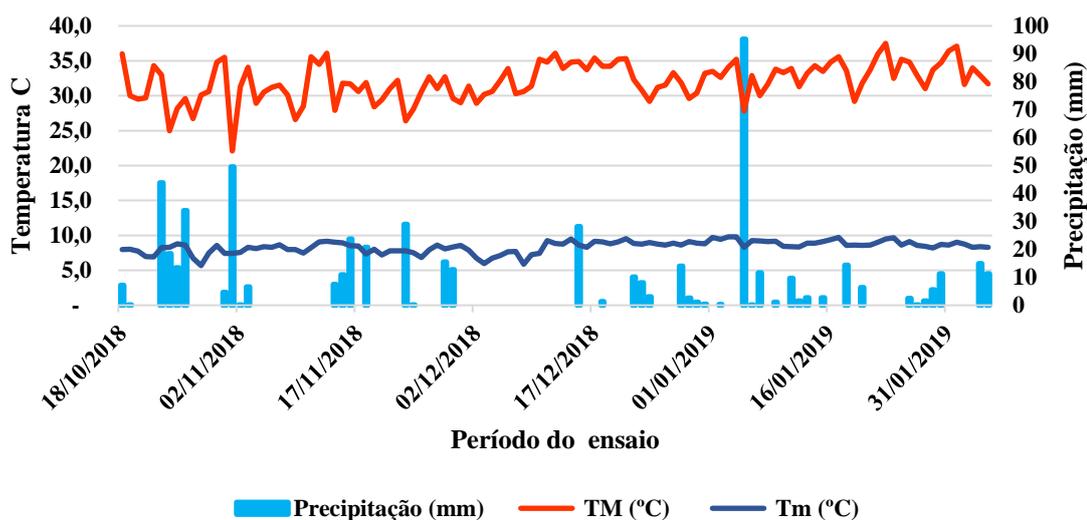


FIGURA 1. Dados de temperatura máxima e mínima e pluviosidade durante o cultivo da soja safra 2018/2019. Estação meteorológica EMBRAPA Agropecuária Oeste, Dourados - MS, 2022

Foi realizada análise granulométrica do solo da área experimental, fracionados entre as camadas de 0,00 - 0,10 m, 0,10 - 0,20 m, 0,20 - 0,30 m e 0,30 - 0,40 m de profundidade, pelo Laboratório de Fertilidade e Física do Solo da Embrapa Agropecuária Oeste (Quadro 1).

Quadro 1. Granulometria do solo em diferentes camadas obtidas em laboratório. Dourados - MS, 2022

Camada (m)	Frações granulométricas			Textura
	Areia	Silte	Argila	
	-----g kg ⁻¹ -----			
0,00 - 0,10	140	364	496	Argilosa
0,10 - 0,20	114	222	663	Muito Argilosa
0,20 - 0,30	113	234	652	Muito Argilosa
0,30 - 0,40	105	244	651	Muito Argilosa

Laboratório de Fertilidade e Física do Solo da Embrapa Agropecuária Oeste

A área utilizada possuía dois sistemas de cultivo, um de pasto permanente e outro de rotação de culturas. No sistema de pasto permanente, as áreas possuíam diferentes anos de implantação com *Brachiaria ruziziensis*, sendo o pasto implantado nos anos de 2013, 2014, 2015, 2016, 2017 e 2018. Já nas áreas de rotação de culturas foram cultivadas soja na safra de verão e uma rotação entre milho solteiro, milho consorciado e feijão-caupí nas safras de inverno, sendo realizada adubação no processo de semeadura de acordo os resultados das análise de solo a fim de suprir necessidades da cultura. No quadro 2 são exemplificados os sistemas de cultivo.

O delineamento experimental foi em blocos casualizados em parcelas subdivididas com 4 repetições. Nas parcelas foram alocados os nove sistemas de cultivos de outono-inverno, ou seja, Pasto 2013, Pasto 2014, pasto 2015, Pasto 2016, Pasto 2017, Pasto 2018, Milho solteiro, Feijão-caupí e consórcio milho-braquiária, com dimensões de 10 x 12,5 m cada parcela. As subparcelas foram compostas pelas quatro profundidades de solo avaliadas 0,00 - 0,10 m, 0,10 - 0,20 m, 0,20 - 0,30 m e 0,30 - 0,40 m de profundidade.

Quadro 2. Demonstração dos tratamentos utilizado na pesquisa. Dourados – MS, 2021

Tratamento/Ano	2013	13/14	2014	14/15	2015	15/16	2016	16/17	2017	17/18	2018	18/19
Sucessão Soja/Milho	Milho	Soja	Milho	Soja	Milho	Soja	Milho	Soja	Milho	Soja	Milho	Soja
Rotação 1	Braq.	Soja	Caupí	Soja	Cons.	Soja	Braq.	Soja	Caupí	Soja	Cons.	Soja
Rotação 2	Cons.	Soja	Braq.	Soja	Caupí.	Soja	Cons.	Soja	Braq.	Soja	Caupí.	Soja
Rotação 3	Caupi	Soja	Cons.	Soja	Braq.	Soja	Caupi	Soja	Cons.	Soja	Braq.	Soja
Pasto 1,5 anos	Caupi	Soja	Caupi	Soja	Caupi	Soja	Caupi	Soja	Pasto	Pasto	Pasto	Soja
Pasto 2,5 anos	Pasto	Soja	Pasto	Soja	Pasto	Soja	Pasto	Pasto	Pasto	Pasto	Pasto	Soja
Pasto 3,5 anos	Caupi	Soja	Caupi	Soja	Pasto	Pasto	Pasto	Pasto	Pasto	Pasto	Pasto	Soja
Pasto 4,5 anos	Milho	Soja	Pasto	Pasto	Pasto	Pasto	Pasto	Pasto	Pasto	Pasto	Pasto	Soja
Pasto 5,5 anos	Pasto	Pasto	Pasto	Pasto	Pasto	Pasto	Pasto	Pasto	Pasto	Pasto	Pasto	Soja

Campo experimental localizado na EMBRAPA Agropecuária Oeste. Dourados, MS. 2022

As coletas de solo foram realizadas no ano de 2019 após a colheita da soja. Para coleta de solo foram abertas três trincheiras de 1,0 m² x 0,40 m em cada parcela principal, localizadas no centro de cada sistema de cultivo.

As amostras indeformadas de solo para análise física foram retiradas com anéis volumétricos de 100 cm³ nas camadas de 0,0 - 0,10 m; 0,10 - 0,20 m; 0,20 - 0,30 m e 0,30 - 40 m de profundidade, sendo estas amostras acondicionadas e encaminhadas para análise no laboratório de solos da Embrapa Agropecuária Oeste.

A partir das amostras indeformadas de solo, foi determinada a densidade do solo (DS), macroporosidade (Ma), microporosidade (Mi) e porosidade total (PT). A porosidade total, macro e microporosidade foram determinadas utilizando o método da mesa de tensão (EMBRAPA, 1997) e para a determinação da densidade do solo (DS) utilizou-se o método do anel volumétrico, segundo Embrapa (1997).

Após a colheita da soja, também foram coletados blocos de solo para realizar o Diagnóstico Rápido da Estrutura do Solo (DRES), proposto por Ralisch et al. (2017). Foram atribuídas notas de 1 a 6, de forma crescente a qualidade estrutural do solo de cada

camada (Q_{ec}), respectivamente. Os resultados foram utilizados como base para calcular o índice de qualidade estrutural do solo da amostra (IQEA) e o índice de qualidade estrutural do solo na gleba avaliada (IQES), determinados utilizando as fórmulas:

$$IQEA = \frac{(E_{c1} \times QE_{c1}) + (E_{c2} \times QE_{c2}) + (E_{c3} \times QE_{c3})}{E_{total}}$$

Onde:

IQEA = índice de qualidade estrutural do solo da amostra;

E_c = espessura de cada camada, em cm (o número de camadas pode variar de 1 a 3);

Q_{ec} = nota de qualidade estrutural atribuída à cada camada;

E_{total} = espessura/profundidade total da amostra (25 cm).

$$IQES = \frac{(IQEA_1 + IQEA_2 + \dots + IQEA_n)}{n}$$

Onde:

IQES = índice de qualidade estrutural do solo na gleba avaliada;

n = número total de amostras;

IQEA = nota de qualidade estrutural atribuída às amostras, de 1 até a n.

Após atendidos os pressupostos da análise de variância, quando observado efeito significativo dos tratamentos, as médias foram comparadas pelo teste Tukey e Scott-Knott, para cultivos, ($p \leq 0,05$).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise de variância indicou efeito isolado em profundidade para macroporosidade. As subcamadas avaliadas do solo a partir da superfície apresentaram os menores valores percentuais para macroporos, sendo a maior porcentagem observada na camada de 0,3 – 0,4 m (12,19 %), sem diferir da camada 0,2 -0,3 (10,93 %) (Quadro 3).

Quadro 3. Macroporosidade do solo (Ma) em função da profundidade do solo. Dourados - MS, 2022

Profundidade (m)	Macroporos
0,00 - 0,10	10,70 b
0,10 -0,20	10,37 b
0,20 - 0,30	10,93 b
0,30 - 0,40	12,19 a
Média	11,05
CV (%)	19,03

Médias seguidas por letras minúsculas iguais não diferem entre si a $p < 0,05$ pelo teste de Tukey. CV (%), Coeficiente de variação em porcentagem.

A avaliação das propriedades físicas do solo em diferentes sistemas de manejo possibilita caracterizar o meio no qual a cultura está implantada, possibilitando evitar interferências que dificultem o crescimento radicular e o desenvolvimento das plantas cultivadas. As propriedades físicas do solo interferem diretamente na disponibilidade de água e ar do solo às plantas, afetando diretamente o crescimento e produtividade dos cultivos (GUBIANE et al., 2014).conhecê-las possibilita discriminar a situação da qualidade física do solo de modo a possibilitar tomadas de decisão no manejo agrícola, visando assim melhorar as características físicas do ambiente solo.

Avaliando pastagens degradadas e renovadas, Silva et al. (2017) observaram que em ambas as pastagens ocorreram aumento da macroporosidade em camadas subsuperficiais, com significativa elevação para a área degradada (20%), independente do pisoteio animal. No presente trabalho pode-se afirmar que o pisoteio animal não promoveu qualquer interferência na compactação dos macroporos das camadas do solo, uma vez que os sistemas de cultivo não apresentaram efeito significativo para esta variável.

De modo geral, a porcentagem de macroporos observada foi superior ao limite de 10%, estabelecida por Grable e Siemer (1968) como crítico para o crescimento ótimo das plantas. Com os valores verificados é possível inferir que a macroporosidade observada nas camadas avaliadas, apesar de próximos ao limítrofe nas camadas superiores, possibilita o adequado crescimento radicular das plantas, bem como a infiltração de água e a difusão de oxigênio no perfil avaliado o que favorece o desenvolvimento e o potencial produtivo das culturas.

Como os gases do solo se movem por fluxo de massa, valores de macroporos e poros preenchidos com ar inferiores a 10% indicam condições limítrofes para a aeração do solo, uma vez que a difusão dos gases do solo é próxima a zero (GRADWELL 1965;

LIPIEC e HATANO 2003). O mesmo ocorre com macroporosidade próxima a 20% em profundidades rasas, dependendo da temperatura do solo e da atividade microbiana para que esta porcentagem seja efetiva na difusão gasosa. Hodgson e MacLeod (1989) demonstram que uma macroporosidade geral adequada para os solos seria em torno de 14,5%.

Os Sistemas de cultivo apresentaram efeito significativo para macroporos e índice de qualidade estrutural do solo (Quadro 4). Sob efeito dos sistemas de cultivo, a Rotação 2 apresentou o menor valor para macroporos (9,62 %), sem diferir estatisticamente das demais rotações, da sucessão soja-milho e pasto implantado a 3,5 anos. Segundo Grable e Siemer (1968) o limite de 10 % de macroporosidade atua como limítrofe para um bom crescimento radicular e desenvolvimento das plantas, sendo necessário intervenção no sistema de Rotação 2 para incrementar a porcentagem de macroporos no solo e evitar prejuízos no crescimento e desenvolvimento das plantas cultivadas na área.

Quadro 4. Macroporos do solo (Ma) e Índice de qualidade estrutural do solo (IQES) do solo em função dos sistemas de cultivo. Dourados - MS, 2022

Tratamentos	Macroporos		IQES	
Sucessão soja/milho	10,02	b	2,87	ab
Rotação 1	10,84	b	3,87	ab
Rotação 2	10,72	b	5,25	a
Rotação 3	9,62	b	3,40	ab
Pasto 1,5 anos	10,66	b	3,50	ab
Pasto 2,5 anos	12,81	a	3,90	ab
Pasto 3,5 anos	10,98	b	2,63	b
Pasto 4,5 anos	12,19	a	2,81	ab
Pasto 5,5 anos	11,59	a	3,89	ab
Média	11,05		3,57	
CV (%)	19,03		28,74	

Rotação 1: braquiária; feijão-caupí; consórcio milho-braquiária; Rotação 2: consórcio milho-braquiária; braquiária; feijão-caupí Rotação 3: feijão-caupí; consórcio milho-braquiária; braquiária. Médias seguidas por letras minúsculas iguais na coluna não diferem entre si a $p < 0,05$ pelo teste de Scott-Knott. CV (%), Coeficiente de variação em porcentagem.

Sob estes parâmetros sugeridos, apesar de diferirem estatisticamente, os demais sistemas de cultivo apresentam macroporos capazes de fornecer um ambiente adequado para o crescimento radicular, difusão de gases e infiltração de água no perfil. Bonetti et al (2018) observaram que a macroporosidade e a densidade do solo não foram afetadas pela inserção de animais em áreas com cultivo de pasto no inverno intercaladas com a soja no verão. De modo paralelo, os resultados obtidos mostram que a manutenção

da macroporosidade foi favorecida com maior tempo entre a sucessão de soja em verão e uso da pastagem e animais em outono-inverno.

Assim, o sistema de rotação 3, composto pela rotação de consórcio, braquiária e caupí, que apresentou o menor valor para macroporosidade, pode denotar que a ordem da rotação deste sistema não apresentou a eficácia semelhante aos dos demais sistemas de rotação para promover incrementos deste parâmetro na área estudada. Além disso, o revolvimento mínimo do solo para o plantio, a baixa capacidade de crescimento radicular em perfil da soja e do Caupí, associados ao pastejo no inverno, podem ter contribuído para a redução da macroporosidade neste tratamento. Auler et al. (2014) observaram o aumento da densidade do solo, causada sobretudo pela redução da porosidade total e da macroporosidade do solo em um SPD devido ao processo compressivo do pastejo dos animais em áreas de SILP, caso similar ao observado neste tratamento estudado.

Já em relação à estrutura do solo, na metodologia proposta por Ralisch et al. (2017), notas entre 5,0 e 6,0 indicam qualidade estrutural do solo muito boa, podendo ser mantido o sistema de manejo utilizado. O sistema de sucessão soja-milho realizado neste trabalho apresentou nota de 2,87, denotando a necessidade de intervenção neste sistema para que a manutenção da qualidade física do solo seja adequada.

Valores de IQES entre 4,0 a 4,9 indica boa qualidade estrutural do solo (Ralisch et al. 2017), entretanto não foram observados valores dentro desta faixa no trabalho. Os sistemas de cultivo apresentaram IQES regular, com notas entre 3,0 a 3,9, demonstrando que o manejo do solo deve ser melhorado com a adoção de práticas conservacionistas e evitando o tráfego de máquinas agrícolas ou o pisoteio de animais na área.

Entretanto, Bonetti et al. (2018) denotam que a qualidade de agregação do solo, pelo diâmetro médio ponderado, tem efeito positivo em sistemas com SILP com incrementos nas propriedades físicas do solo e aumento do nitrogênio e carbono da biomassa microbiana do solo quando em SPD. Ralisch et al. (2017) afirmam que a presença de raízes favorece a formação de agregados maiores e mais resistentes, com aspecto grumoso e presença de poros, classificados no DRES com notas altas. Deste modo, a presença do capim seguida por cultivos de verão contribui para a manutenção da estrutura do solo.

É possível perceber que na área com o maior tempo de cultivo de pasto rotacionado com o caupí o IQES apresentou valores regulares e ruim no sistema com 3,4 e 4,5 anos de cultivo do pasto (2,63). Nota-se, também, valores inferiores a 3,00 na área

com o sistema Rotação 3. Isso denota que sucessão de cultivos da área, associado a baixa diversidade de cultivos e o não revolvimento do solo pode levar uma área consolidada à situação de degradação ou em situação de recuperação de área degradada.

Capristo et al. (2021) observaram que em áreas submetidas a renovação de pastagem, em solos de textura média, ocorreram melhorias na qualidade estrutural do solo, entretanto os autores destacam a importância do planejamento, uma vez que existem diferenças nos efeitos gerados na estrutura do solo, bem como na qualidade biológica, de acordo com os cultivos manejados para a renovação da área.

Ocorreu interação entre profundidade e sistemas de cultivo para microporosidade (Quadro 5). De modo geral ocorreu uma redução de microporos em profundidade, sendo que na profundidade 0,30 – 0,40 não houve efeito do sistema de cultivo sobre a microporosidade, demonstrando que os sistemas atuam de forma mais expressiva na manutenção dos microporos nas camadas mais superficiais. Com exceção da rotação 3, que mesmo em 0,30 a 0,40m não diferiu das camadas superiores.

Quadro 5. Microporosidade do solo (Mi) em função dos sistemas de cultivo e da profundidade do solo. Dourados - MS, 2022

Tratamentos	Microporosidade			
	Profundidade			
	0,0 - 0,10	0,10 - 0,20	0,20 - 0,30	0,30 - 0,40
Sucessão soja/milho	42,20 b B	45,42 a A	42,55 a B	40,84 a B
Rotação 1	40,98 b C	44,69 a A	42,94 a B	40,69 a C
Rotação 2	41,16 b B	44,05 a A	41,68 a B	41,26 a B
Rotação 3	42,20 b A	41,27 b A	41,99 a A	40,70 a A
Pasto 1,5 anos	43,19 b A	43,76 a A	42,82 a A	39,64 a B
Pasto 2,5 anos	42,39 b B	44,10 a A	41,78 a B	40,58 a B
Pasto 3,5 anos	43,23 b A	44,83 a A	40,63 b B	41,54 a B
Pasto 4,5 anos	44,57 a A	44,13 a A	39,69 b B	40,94 a B
Pasto 5,5 anos	45,40 a A	42,56 b B	38,99 b C	41,92 a B
Média	42,26			
CV (%)	2,87			

Médias seguidas por letras minúsculas iguais não diferem entre si para profundidade e letras maiúsculas iguais não diferem entre si para sistemas de cultivo a $p < 0,05$ pelo teste de Scott-Knott. CV (%), Coeficiente de variação em porcentagem.

Observou-se que nas camadas superficiais, em sistemas de cultivo com maior tempo e frequência de cultivo da braquiária, seja solteira ou consorciada, os microporos foram mais abundantes, seguindo a mesma tendência apresentada pelo efeito dos sistemas para os macroporos. Estes resultados demonstram a importância do sistema radicular das

plantas tanto para a estabilidade dos agregados quanto para a manutenção da porosidade do solo.

Em profundidade de 0,10 a 0,20 m a Rotação 3 e o pasto implantado a 5,5 anos apresentaram os menores valores para microporos. Neste primeiro sistema o cultivo alternativo a soja foi por 4 anos o caupí, seguido de um ano de consórcio e 6 meses de pastagem. Esse histórico de cultivos justifica a baixa porcentagem de microporos justamente pelo fato de o caupí apresentar raízes pivotantes com menor distribuição no perfil, denotando que o uso de leguminosas como um condicionador de microporos em profundidade não é eficiente. Já no último, caso o período prolongado de pasto pode apresentar uma queda na manutenção de microporos do solo.

A porosidade total do solo apresentou resultados com interação entre sistemas de cultivo e profundidade (Quadro 6). Os valores observados para a porosidade total do solo foram superiores nas camadas de 0,0 - 0,10 m e 0,10 - 0,20 m, sendo que na primeira não haver efeito dos sistemas de cultivo. Na segunda, camada 0,10 - 0,20 m, o cultivo do caupí em outono-inverno, antecedido pelo consorcio do ano anterior, no sistema de rotação 2, apresentou a maior porosidade total do solo demonstrando a eficiência do cultivo do consorcio seguido de uma leguminosa em rotação de outono-inverno.

Quadro 6. Porosidade total do solo (PT) em função dos sistemas de cultivo e da profundidade do solo. Dourados - MS, 2022

Tratamentos	Valor Total de Poros			
	0,0 - 0,10	0,10 - 0,20	0,20 - 0,30	0,30 - 0,40
Sucessão soja/milho	53,22 a A	52,99 b A	53,43 a A	50,82 c B
Rotação 1	52,76 a A	54,83 a A	51,65 b B	52,15 b B
Rotação 2	53,49 a A	51,43 b B	53,48 a A	50,56 c B
Rotação 3	53,57 a A	54,13 a A	50,34 b B	50,10 c B
Pasto 1,5 anos	54,29 a A	52,84 b A	50,01 b B	50,28 c B
Pasto 2,5 anos	54,85 a A	50,74 b B	51,35 b B	52,71 b B
Pasto 3,5 anos	53,31 a A	52,88 b A	53,32 a A	51,16 c A
Pasto 4,5 anos	52,51 a B	54,47 a A	50,96 b B	54,77 a A
Pasto 5,5 anos	53,26 a A	52,49 b A	53,49 a A	52,72 b A
Média	52,54			
CV (%)	2,73			

Médias seguidas por letras minúsculas iguais não diferem entre si para profundidade e letras maiúsculas iguais não diferem entre si para sistemas de cultivo a $p < 0,05$ pelo teste de Scott-Knott. CV (%), Coeficiente de variação em porcentagem.

Embora ocorra uma redução de microporos nas camadas de solo avaliadas, a macroporosidade apresenta elevação de seus valores de modo que este contraponto promove um equilíbrio na porosidade total do solo. Além disso, nenhum dos valores encontrados para as porosidades encontram-se inferiores aos limítrofes para o bom desenvolvimento das culturas, o que garante a eficiência dos sistemas de cultivos

empregados na área para a manutenção da qualidade física do solo. Isso denota a importância de avaliar os parâmetros de porosidades do solo de forma isolada, em virtude do total, a fim de evitar erros de julgamento ao ver o equilíbrio nos valores de porosidade total.

Klein (2014) cita que a porosidade total mínima para um bom desenvolvimento da planta é de aproximadamente 50% e as análises demonstram que em todos os sistemas esse valor base é alcançado, independente da profundidade, garantindo um bom desenvolvimento radicular as culturas que serão implantadas, tocas gasosas do solo e percolação da água no perfil.

Silva et al. (2019) estudando culturas em SILP observaram que a baixa lotação de animais nos períodos de pasto associado a um sistema de rotação de culturas eficiente, que apresentem crescimentos radiculares distintos, e a produção de biomassa vegetal proporcionam melhorias na porosidade, bem como na fertilidade do solo. Os autores ainda destacam a importância do SILP para a intensificação econômica da área e da importância do material vegetal aportado ao solo que, quando decomposto, atua como condicionador do solo.

Houve interação entre a profundidade do solo e os sistemas de cultivo para os valores observados na densidade do solo (Quadro 7). É possível observar que para a sucessão soja-milho e para pastos cultivados a 2,5 e 3,5 anos ocorreu um aumento de densidade nas camadas de 0,10-0,30 m de profundidade, formando uma camada que pode comprometer o desenvolvimento das raízes da soja. Já os sistemas de Rotação 1 e pasto cultivado a 1,5 anos promoveu aumento crescente da densidade de acordo com a profundidade, indicando serem sistemas coerentes para a manutenção da densidade natural do solo.

De acordo com Reichert et al. (2003), o valor de DS ideal para o bom desenvolvimento das culturas varia de 1,4 a 1,6 kg dm⁻³ em solos argilosos, enquanto que nos trabalhos de Carter (1998) e Drewry et al. (2001) estes valores são considerados ideais entre 1,25 e 1,30 kg dm⁻³. Entretanto, em diversos trabalhos, verificou-se que a máxima produtividade pode ser alcançada com valores de DS entre 0,9 e 1,2 kg dm⁻³ (REYNOLDS et al., 2007; TORMENA et al., 2008; DREWRY et al., 2008).

Quadro 7. Densidade do solo (DS) em função dos sistemas de cultivo e da profundidade do solo. Dourados - MS, 2022

Tratamentos	Densidade			
	0,0 - 0,10	0,10 - 0,20	0,20 - 0,30	0,30 - 0,40
Sucessão soja/milho	1,26 b B	1,33 a A	1,36 b A	1,26 b B
Rotação 1	1,31 a A	1,20 b B	1,31 c A	1,24 b B
Rotação 2	1,33 a A	1,31 a A	1,25 c B	1,32 a A
Rotação 3	1,25 b B	1,27 a B	1,35 b A	1,37 a A
Pasto 1,5 anos	1,24 b C	1,31 a B	1,42 a A	1,35 a B
Pasto 2,5 anos	1,31 a A	1,35 a A	1,35 b A	1,22 b B
Pasto 3,5 anos	1,27 b B	1,30 a A	1,34 b A	1,34 a A
Pasto 4,5 anos	1,27 b A	1,18 b B	1,30 c A	1,25 b A
Pasto 5,5 anos	1,30 a A	1,24 b B	1,29 c A	1,34 a A
Média	1,30			
CV (%)	3,21			

Médias seguidas por letras minúsculas iguais não diferem entre si para profundidade e letras maiúsculas iguais não diferem entre si para sistemas de cultivo a $p < 0,05$ pelo teste de Scott-Knott. CV (%), Coeficiente de variação em porcentagem.

De modo geral, observa-se que a densidade do solo se enquadra dentro dos parâmetros ideais para elevadas produtividades, entretanto nota-se que esse parâmetro aumenta com a profundidade do solo avaliada. Bem como, nos sistemas de cultivo, percebe-se que a densidade do solo aumenta com o tempo de cultivo de caupí, seguido pelos anos de pasto, em sucessão a soja. Isto indica que um sistema sucessão de culturas, sem rotação de cultivos e de culturas, promove o aumento da densidade do solo e a redução da porosidade, podendo promover camadas de compactação e intensificando a degradação do solo na área de produção.

Ao estudar culturas de cobertura consorciadas entre si em um solo arenoso classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo, Trevisan et al. (2017) constataram que, apesar de ser em solo distinto ao corrente estudo, que o sistema de cultivo de consorcio entre braquiária e feijão-caupí aumentaram a densidade e a resistência a penetração do solo em comparação quando cultivado o consorcio entre braquiária e crotalária ou ao capim Sudão. De forma paralela Ribeiro et al. (2019) demonstram que o cultivo consorciado de milho com *Uruchloa ruzizienses* aumenta a porosidade total e reduz a densidade do solo frente os seus cultivos solteiros e de milho e feijão-caupí.

Konzen et al. (2018) avaliando a densidade do solo em sistema de uso do solo com produção de silagem, SPD e pastagem demonstram que a densidade do solo, nas camadas superficiais, apresentam maiores valores quando em pasto, justificado pelo pisoteio dos animais a baixa diversidade radicular de plantas empregadas no sistema em relação aos demais. Correlacionando a este trabalho, é possível perceber a importância

do sistema de cultivo empregado, bem como a permanência do sistema para se obter o máximo potencial produtivo e do uso da terra.

Quando analisados em conjunto os resultados observados para macroporos, microporos, porosidade total e densidade do solo, nota-se que há uma coerência dos dados, uma vez que a densidade responde diretamente aos resultados encontrados para os demais fatores. Nos tratamentos em que há o histórico de cultivo com consórcio e braquiária solteira no ano anterior fica claro o efeito deixado pelo sistema radicular da gramínea, de modo a elevar os valores de macroporos e reduzir a densidade do solo, demonstrando o benefício a longo prazo da cultura.

No sistema Rotação 2, a cultura antecessora de inverno foi o caupí, que apresenta sistema radicular pivotante, com área de ocupação inferior ao sistema radicular da braquiária, refletindo em menos microporos no solo e, por consequência, elevando a densidade do mesmo. De acordo com Sereia (2018), a presença de uma leguminosa em rotação seguida pelo cultivo de milho consorciado promove incrementos na porosidade total do solo, bem como reduz sua densidade, uma vez que a interação radicular destas plantas pode promover mudanças mais efetivas na estrutura do solo, atuando na formando de bioporos a partir da morte e decomposição das raízes.

CONCLUSÕES

A utilização de pasto como alternativa de cultivo em outono-inverno não altera a qualidade física do solo e a rotação de culturas neste período possibilita melhorias nos atributos físicos do solo.

O consorcio milho braquiária cultivado em outono-inverno ao longo dos anos, reduz a densidade do solo e melhora os parâmetros de macro, microporos e porosidade total do solo, sendo um cultivo indicado para implantação de outono-inverno para produção de grãos e pasto.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AULER, A. C.; MIARA, S.; PIRES, L. F.; FONSECA, A. F.; BARTH, G. Soil physico-hydric properties resulting from the management in integrated production systems. *Revista Ciencia Agronomica*, v. 45, n. 5, p. 976–989, 2014
- BONETTI, J. A.; PAULINO, H. B.; SOUZA, E. D.; CARNEIRO, M. A. C.; CAETANO, J. O. Soil physical and biological properties in an integrated crop-livestock system in the Brazilian Cerrado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 53, n. 11, p. 1239–1247, 2018.
- BORGES, W. L. B.; CALONEGO, J. C.; ROSOLEM, C. A. Impact of crop-livestock-forest integration on soil quality. *Agroforestry Systems*, v. 93, n. 6, p. 2111–2119, 2019.
- CAPRISTO, D. P.; CECCON, G.; FACHINELLI, R.; TOMAZI, M. Microbiological and structural quality of Oxisoil under pasture renewal systems. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 51, e68006, 2021.
- CARTER, M. R. Temporal variability of soil macroporosity in a fine sandy loam under mouldboard ploughing and direct drilling. *Soil & Tillage Research*, v. 12, p. 37-51, 1988.
- DREWRY, J. J.; CAMERON, K. C.; BUCHAN G. D. Pasture yield and soil physical property responses to soil compaction from treading and grazing - a review. *Australian Journal of Soil Research*, v. 46, p. 237-256, 2008.
- EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa - CNPS, p. 112, 1997.
- FIETZ, C. R.; FISCH, G. F.; COMUNELLO, E.; FLUMIGNAN, D. L. **O clima da Região de Dourados, MS**. 3. ed. rev. e atual. - Dourados, MS: Embrapa Agropecuária Oeste, 2017. 31 p. (Documentos 138 - Embrapa Agropecuária Oeste).
- FLÁVIO NETO, J.; SEVERIANO, E. C.; COSTA, K. A. P.; GUIMARÃES JUNNYOR, W. S.; GONÇALVES, W. G.; ANDRADE, R. Biological soil loosening by grasses from genus *Brachiaria* in crop-livestock integration. *Acta Scientiarum. Agronomy*, v. 37, n. 3, p. 375-383, 2015.
- FREITAS, P. L.; LANDERS, J. N. The transformation of agriculture in Brazil through development and adoption of zero tillage conservation agriculture. *International Soil and Water Conservation Research*, v. 2, n. 1, p. 35-46, 2014.
- GRABLE, A. R.; SIEMER, E. G. Effects of bulk density, aggregate size, and soilwater suction on oxygen diffusion, redox potential and elongation of corn roots. *Soil Science Society of America Journal*, v. 32, p. 180-186, 1968.
- GRADWELL, M. W. Soil physical conditions of winter and the growth of ryegrass plants I. Effects of compaction and puddling. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, v. 8, p. 238–261, 1965.
- HODGSON, A. S.; MACLEOD, D. A. Use of oxygen density to estimate critical air-filled porosity of a Vertisol. *Soil Science Society of America Journal*, v. 53, p. 355–361, 1989.

- KLEIN, V. A. Física do solo. 3. ed. Passo Fundo: Universidade de Passo Fundo, 2014.
- KONZEN, A. M.; BORTOLI, J.; GOMES, P. R.; SORDI, A.; CERICATO, A. Propriedades físicas do solo em diferentes sistemas de uso e manejo. **Unoesc & Ciência – ACET**, v. 9, n. 2, p. 183-190, 2018.
- LANDERS, J. N.; FREITAS, P. L.; OLIVEIRA, M. C.; SILVA NETO, S. P.; RALISCH, R.; KUENEMAN, E. A. Next steps for Conservation Agriculture. **Agronomy**, v. 11, p. 2496, 2021.
- LAROCA, J. V. D. S.; SOUZA, J. M. A. D.; PIRES, G. C.; PIRES, G. J. C.; PACHECO, L. P.; SILVA, F. D. D.; WRUCK, F. J.; CARNEIRO, M. A. C.; SILVA, L. S.; SOUZA, E. D. D. Soil quality and soybean productivity in crop-livestock integrated system in no-tillage. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 53, n. 11, p. 1248–1258, 2018.
- LIPIEC, J.; HATANO, R. Quantification of compaction effects on soil physical properties and crop growth. **Geoderma**, v. 116, p. 107–136, 2003. doi: 10.1016/S0016-7061(03)00097-1
- MAIA, G. A.; COSTA, K. A. P.; SEVERIANO, E. C.; EPIFANIO, P. S.; FLÁVIO NETO, J.; RIBEIRO, M. G. Yield and chemical composition of brachiaria forage grasses in the offseason after corn harvest. **American Journal of Plant Science**, v. 5, n. 7, p. 933-941, 2014.
- MENDONÇA, V. Z.; MELLO, L. M. M.; ANDREOTTI, M.; PEREIRA, F. C. B. L.; LIMA, R. C.; VALÉRIO FILHO, W. V.; YANO, E. H. Avaliação dos atributos físicos do solo em consórcio de forrageiras, milho em sucessão com soja em região de Cerrados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, n 1, p. 251-259, 2013.
- RALISCH, R.; DEBIASI, H.; FRANCHINI, J. C.; TOMAZI, M.; HERNANI, L. C.; MELO, A. S.; SANTI, A.; MARTINS, A. L. S.; BONA, F. D. **Diagnóstico Rápido da Estrutura do Solo**. Documentos (Embrapa Soja), v. 390, n. 1, p. 64, 2017.
- REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; BRAIDA, J. A. Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. *Ciência e Ambiente*, Santa Maria, v.27, p. 29-48, 2003.
- REYNOLDS, W. D.; DRURY, C. F.; YANG, X. M.; FOX, C. A.; TAN, C. S.; ZHANG, T. Q. Land management effects on the near-surface physical quality of a clay loam soil. **Soil & Tillage Research**, v. 96 p. 316-330, 2007.
- RIBEIRO, L. M., FLAUZINO, D. S.; CECCON, G. Atributos físicos do solo e crescimento de raiz da soja após cultivos de outono-inverno. **Brasilian Journal of Biosystems Engineering**, v. 13, n. 1, p. 36-43, 2019.
- SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; ARAUJO FILHO, J. C.; OLIVEIRA, J. B.; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**, 5 ed. Brasília, DF: Embrapa, 2018.
- SEREIA, R. C. **Qualidade do solo em sistemas consorciados de milho, capim-marandú e feijão-guandú e sobressemeadura de aveia para pastejo de cordeiros**, Tese (Doutorado) Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 144 p. 2017.

SILVA, A. G.; ASSIS, R. L.; OLIVEIRA, C. A. A.; FERREIRA, C. J. B.; TEXEIRA, I. R.; ALMEIDA, K. L.; CARMO, E. L. Variabilidade dos atributos físicos do solo e dinâmica da palhada em sistema integração lavoura-pecuária no cerrado. **Revista milho e sorgo**, v. 18, n. 3, p. 429-440, 2019.

SILVA, B. E. C.; MEDINA, E. F.; JOLOMBA, M. R. Propriedades físicas do solo em função de diferentes manejos de pastagem. **Revista brasileira de Agropecuária Sustentável**, v. 7, n. 3, p. 66-75, setembro, 2017.

SILVA, J. F. G.; GONÇALVES, W. G.; COSTA, K. A. P.; FLÁVIO NETO, J.; BRITO, M. F.; SILVA, F. C.; SEVERIANO, E. C. Crop-livestock integration and the physical resilience of a degraded latosol. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 40, n. 6, suplemento 2, p 2973-2990, 2019.

TORMENA, C. A.; SILVA, A. P.; IMHOFF, S. D. C.; DEXTER, A. R. Quantification of the soil physical quality of a tropical oxisol using the S index. **Scientia Agrícola**, v. 65, p. 56-60, 2008.

TREVISAN, R. G.; FREDDI, O. S.; WRUCK, F. J.; TAVANTI, R. R.; PERES, F. S. C. Variability of physical properties of soil and rice grown under cover crops in crop-livestock integrates system. **Bragantia**, v. 76, n. 1, p. 145-154, 2017.

ZAGO, L. M. S.; RAMALHO, W. P.; CARAMORI, S. Does Crop-Livestock-Forest Systems Contribute to Soil Quality in Brazilian Savannas, **Floresta E Ambiente**, v. 26, n 3, 2019.

CAPÍTULO III

ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO EM SISTEMAS INTEGRADOS DE PRODUÇÃO

RESUMO: A diversificação de produção em sistemas integrados potencializa o uso da terra, na tentativa de encontrar um equilíbrio entre a produção e a conservação do solo. Englobando conceitos de produção com base na ciclagem de nutrientes, rotação de culturas, e intensificação da produção de uma área, por meio animal e vegetal em sucessão, rotação ou consórcio. Com isso, este trabalho objetivou avaliar os atributos químicos do solo cultivado com soja em sistemas de cultivo outono-inverno. O delineamento experimental foi em blocos casualizados em parcelas sub-subdivididas com 4 repetições. Nas parcelas foram alocados os nove sistemas de cultivos de outono-inverno, ou seja, Pasto 2013, Pasto 2014, Pasto 2015, Pasto 2016, Pasto 2017, Pasto 2018, Milho solteiro, Feijão-caupí e consórcio milho-braquiária, com dimensões de 10 x 12,5 m cada parcela. As subparcelas foram compostas pelas quatro profundidades de solo avaliadas 0,00 - 0,10 m, 0,10 – 0,20 m, 0,20 – 0,30 m e 0,30 – 0,40 m de profundidade. O cultivo de pasto em sucessão a soja promove melhorias na qualidade química do solo tanto em profundidade, mas principalmente na camada superficial do solo. A rotação de culturas incrementa os atributos químicos do solo na camada superficial.

Palavras-chave: Rotação de culturas, ciclagem de nutrientes, fertilidade do solo

SOIL CHEMICAL ATTRIBUTES IN INTEGRATED PRODUCTION SYSTEMS

ABSTRACT: The diversification of production in integrated systems enhances land use, in an attempt to find a balance between production and soil conservation, production concepts based on nutrient cycling, crop rotation, and intensification of the production of area, by means of animal and plant in succession, rotation or consortium. With this, the objective was to evaluate the effects of autumn-winter cropping systems, in succession to soybean, submitted in no-tillage on the chemical quality of the soil. The experimental design was in randomized blocks in sub-subdivided plots with 4 replications. Nine autumn-winter cropping systems were allocated in the plots, that is, Pasto 2013, Pasto 2014, Pasto 2015, Pasto 2016, Pasto 2017, Pasto 2018, Single corn, Cowpea and corn-signal intercropping, with dimensions of 10 x 12.5 m each plot. The subplots were composed by the four evaluated soil depths 0.00 - 0.10 m, 0.10 - 0.20 m, 0.20 - 0.30 m and 0.30 - 0.40 m of depth. The cultivation of pasture in succession to soybean promotes improvements in the chemical quality of the soil both in depth, but mainly in the superficial layer of the soil. Crop rotation increases the chemical attributes of the soil in the topsoil.

Keywords: Crop rotation, nutrient cycling, soil fertility

INTRODUÇÃO

As técnicas de manejos das culturas promovem modificações no sistema de produção, podendo aumentar ou reduzir a qualidade dos atributos do solo e, dessa forma interferindo diretamente na sustentabilidade do sistema. Sob esta ótica utilizar sistemas de produção que promovam a conservação das propriedades do solo permite o uso sustentável deste, sendo menos nocivo ao meio ambiente como um todo (SALES et al., 2015).

De forma geral, a intensificação da agricultura, como elevada população de plantas, adubações irregulares e falta de planejamento, pode acarretar riscos ambientais, reduzindo inclusive a produtividade. Assim, sistemas produtivos com bases sustentáveis, como os sistemas integrados de produção, promovem a intensificação produtiva sustentável, aumenta a produção de alimentos e promove melhorias no sistema de cultivo (BALBINO et al, 2011).

A diversificação de produção em sistemas integrados potencializa o uso da terra, reduzindo a necessidade de aberturas de novas áreas (CORDEIRO et al., 2015) e promove benefícios ao solo, plantas e animais, por explorar o sinergismo entre seus componentes (BONINI et al., 2016).

Com isso, algumas tentativas de encontrar um manejo que equilibre a produção e a conservação do solo, geram sistemas que possibilitam melhorias nos atributos do solo e incrementos na produtividade agrícola. Conceitos como a produção com base na ciclagem de nutrientes, rotação de culturas, e intensificação da produção de uma área, por meio da pecuária e agrícola em sucessão, rotação ou consórcio são exemplos de sistemas que buscam este equilíbrio (COSTA et al., 2015).

Moraes et al. (2019) constataram que sistemas integrados como o SILP, além de promover benefícios no sistema solo-planta-animal, reduzem aberturas de áreas em biomas e intensificando a sustentabilidade e a biodiversidade de agro ecossistemas produtivos.

As alterações nos atributos químicos do solo são causadas, entre outros fatores, devido ao elevado acúmulo de resíduos vegetais sobre a superfície do solo, que pelo processo de decomposição promovem a mobilização de nutrientes das camadas profundas do solo para a superfície, estimulando a atividade biológica e resultando em alterações na fertilidade (COSTA et al., 2015).

Santos et al. (2011) observaram incrementos na matéria orgânica, carbono, cálcio, magnésio, fósforo e potássio na camada superficial do solo, em detrimento das profundas, em sistemas de cultivos integrados com semeadura direta. Estes resultados são possíveis devido ao processo de ciclagem de nutrientes, uma vez que as pastagens associadas a produção de grãos em um ano agrícola incrementam este processo por empregar espécies com sistemas radiculares de diferentes morfologias no sistema.

Também são benefícios, promovidos pelos sistemas integrados em SPD associados, incrementos no estoque de carbono e nitrogênio (LOSS et al., 2011), na diversidade microbiana e fertilidade (REGO et al., 2020) do solo, além de promover a resiliência das culturas às alterações climáticas, melhorando a conservação e utilização da água no sistema (KUNDE et al., 2020).

Sob estas perspectivas, este trabalho objetivou avaliar os atributos químicos do solo cultivado com soja em sistemas de cultivo outono-inverno.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado na área experimental da Embrapa Agropecuária Oeste, no município de Dourados, Mato Grosso do Sul, nas coordenadas geográficas 22°13'S e 54°48'W a 408 m de altitude. O clima da região é classificado como Am (Tropical Monçônico), segundo a classificação de Köppen, com verões quentes e invernos secos, temperaturas máximas observadas nos meses de dezembro e janeiro e temperaturas mínimas entre maio e agosto, coincidindo com chuvas excedentes na primavera - verão e déficit hídrico no outono – inverno (FIETZ et al., 2017). O solo da área experimental é classificado como Latossolo Vermelho Distroférico, textura muito argilosa (SANTOS, 2018). Os dados de precipitação e temperatura foram obtidos na Estação Meteorológica da mesma instituição (Figura 1).

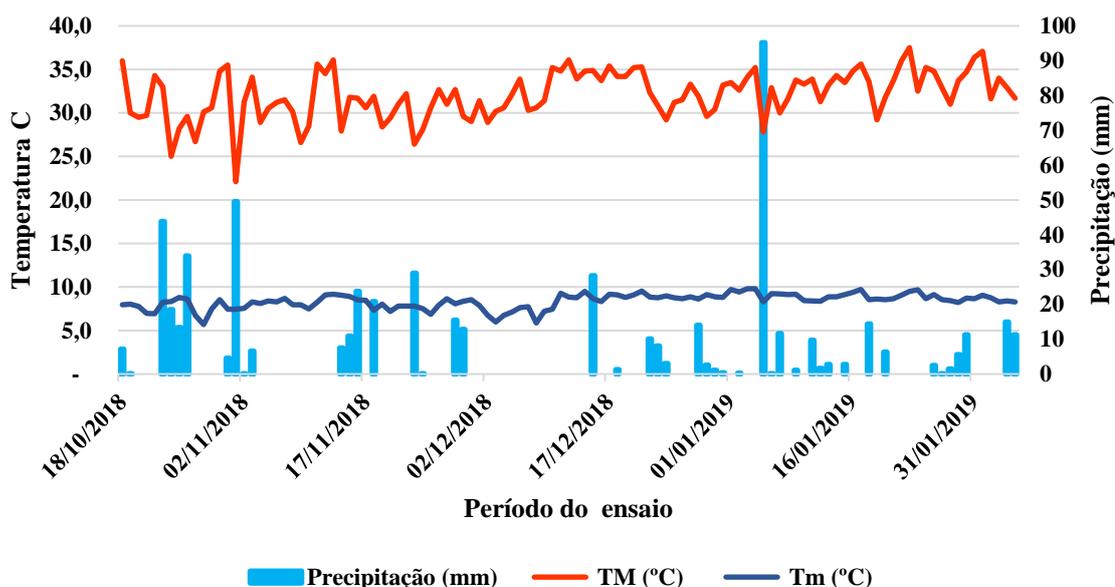


FIGURA 1. Dados de temperatura, máxima e mínima, e pluviosidade durante o cultivo da soja safra 2018/2019. Estação meteorológica EMBRAPA Agropecuária Oeste, Dourados - MS, 2022

Foi realizada análise dos atributos químicos e granulométricos do solo entre as camadas 0,00 a 0,40 metros de profundidade pelo Laboratório de Fertilidade e Física do Solo da Embrapa Agropecuária Oeste (Quadro 1).

Quadro 1. Análise química do solo realizada no início de experimento (2013) e frações granulométricas do solo. Dourados - MS, 2022

Profundidade (m)	pH	MO	P (resina)	H+Al	K	Ca	Mg	CTC	v%
	CaCl ₂	g dm ⁻³	mg dm ⁻³	-----mmolc dm ⁻³ -----					
0,00-0,20	5,1	38	12,2	41	1	31	15	89	53
0,20-0,40	4,8	38	5,5	59	0,7	21	11	93	36

Camada (m)	Frações granulométricas			Textura
	Areia	Silte	Argila	
	-----g kg ⁻¹ -----			
0,00 - 0,10	140	364	496	Argilosa
0,10 - 0,20	114	222	663	Muito Argilosa
0,20 - 0,30	113	234	652	Muito Argilosa
0,30 - 0,40	105	244	651	Muito Argilosa

MO: matéria orgânica do solo; P: teor de Fósforo no solo; H+Al: hidrogênio+alumínio no solo; K: teor de potássio no solo; Ca: teor de cálcio no solo; Mg: teor de magnésio no solo; CTC: capacidade catiônica; v%: saturação do solo por bases.

A área utilizada possuía dois sistemas de cultivo, um de pasto permanente e outro de rotação de culturas. No sistema de pasto permanente, as áreas possuíam diferentes anos de implantação, sendo o pasto implantado nos anos de 2013, 2014, 2015, 2016, 2017 e 2018. Já nas áreas de rotação de culturas foram cultivadas soja na safra de verão e uma rotação entre milho solteiro, milho consorciado e feijão-caupi nas safras de inverno. No quadro 2 são exemplificados os sistemas de cultivo.

Quadro 2. Demonstração dos tratamentos utilizado na pesquisa. Dourados – MS, 2022

Tratamento/Ano	2013	13/14	2014	14/15	2015	15/16	2016	16/17	2017	17/18	2018	18/19
Sucessão soja/milho	Milho	Soja										
Rotação 1	Cons.	Soja	Cons.	Soja	Cons.	Soja	Consó.	Soja	Pasto	Soja	Caupi	Soja
Rotação 2	Pasto	Soja	Pasto	Soja	Pasto	Soja	Pasto	Soja	Caupi	Soja	Cons.	Soja
Rotação 3	Caupi	Soja	Caupi	Soja	Caupi	Soja	Caupi	Soja	Cons.	Soja	Pasto	Soja
Pasto 1,5 anos	Caupi	Soja	Caupi	Soja	Caupi	Soja	Caupi	Soja	Pasto	Pasto	Pasto	Soja
Pasto 2,5 anos	Pasto	Soja	Pasto	Soja	Pasto	Soja	Pasto	Pasto	Pasto	Pasto	Pasto	Soja
Pasto 3,5 anos	Caupi	Soja	Caupi	Soja	Pasto	Pasto	Pasto	Pasto	Pasto	Pasto	Pasto	Soja
Pasto 4,5 anos	Milho	Soja	Pasto	Pasto	Pasto	Pasto	Pasto	Pasto	Pasto	Pasto	Pasto	Soja
Pasto 5,5 anos	Pasto	Pasto	Pasto	Soja								

Campo experimental localizado na EMBRAPA Agropecuária Oeste. Dourados, MS. 2021

O delineamento experimental foi em blocos casualizados em parcelas sub-subdivididas com 4 repetições. Nas parcelas foram alocados os nove sistemas de cultivos de outono-inverno, ou seja, Pasto 2013, Pasto 2014, Pasto 2015, Pasto 2016, Pasto 2017, Pasto 2018, Milho solteiro, Feijão-caupi e consórcio milho-braquiária, com dimensões de 10 x 12,5 m cada parcela. As subparcelas foram compostas pelas quatro profundidades de solo avaliadas 0,00 - 0,10 m, 0,10 – 0,20 m, 0,20 – 0,30 m e 0,30 – 0,40 m de profundidade.

As coletas de solo foram realizadas no ano de 2019 após a colheita da soja. Para coleta de solo foram abertas três trincheiras de 1,0 m x 0,40 m em cada parcela principal.

As amostras deformadas de solo para análise química foram coletadas a partir das camadas mensuradas, com régua graduada, nas laterais das trincheiras formando uma amostra composta das camadas de 0,0 - 0,10 m; 0,10 - 0,20 m; 0,20 - 0,30 m e 0,30 -0,40. As amostras foram acondicionadas e levadas para análise no laboratório de solos da Embrapa Agropecuária Oeste.

Para avaliação da fertilidade, as amostras foram analisadas quimicamente para determinação de pH, e calculadas as saturação por alumínio e por bases, soma de bases, CTC e CTC efetiva, teores de fósforo (Melhich), cálcio, magnésio, potássio, manganês, zinco e cobre conforme metodologia proposta por Raij et al. (2001).

Os teores de carbono (C) e matéria orgânica do solo foram obtidos por meio de analisador elementar automático (Modelo TruSpec™ CHNS, da LECO®).

Após atendidos os pressupostos da análise de variância, quando observado efeito significativo dos tratamentos (sistemas de cultivo e profundidade do solo), as médias foram comparadas pelo teste Tukey e Scott-Knott, para cultivos, ($p \leq 0,05$).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Houve efeito significativo para acidez do solo (pH água e CaCl_2) e acidez potencial do solo (pH CaCl_2), hidrogênio+alumínio (H+Al), alumínio (Al^{+3}), soma de bases (SB), CTC e CTC efetiva, saturação por alumínio (m%) e saturação por bases (v%), fósforo (P), cálcio (Ca^{+2}), cobre (Cu^{+}), manganês (Mn^{+}), zinco (Zn^{+}), carbono total (Ct) e matéria orgânica (MO) entre as profundidades avaliadas (Quadros 3, 4 e 5). Houve efeito significativo dos tratamentos para alumínio (Al^{+3}), soma de bases (SB), saturação por alumínio (m%), saturação por bases (v%) e concentração de cálcio (Ca^{+2}), fósforo (P) e zinco (Zn^{+}) (Quadro 6). O teste de medias ainda detectou interação entre os tratamentos e profundidades para alumínio (Al^{+3}), m%, potássio (K^{+}), magnésio (Mg^{+2}) e fósforo (P).

De modo geral, pode-se observar que o pH variou de 6,01 a 5,43 entre as camadas, da superfície a subsuperfície respectivamente (Quadro 3). Segundo Raij et al. (1996), esses valores são considerados como média acidez. O pH do solo (pH CaCl_2) converge com a acidez efetiva do solo, apresentando o maior valor na camada superior do solo e os menores valores de acidez nas camadas intermediárias.

Quadro 3. Acidez (pH) e acidez potencial do solo (pH CaCl₂) e concentrações de Al⁺³, Ca⁺² e H+Al do solo em função da profundidade. Dourados - MS, 2022.

Profundidade	pH Água	pH CaCl ₂	Al ⁺³ -----	Ca ⁺² mmolc dm ⁻³	H+Al -----
0,00 - 0,10	6,01 a	5,34 a	0,03 a	5,19 a	4,95 c
0,10 - 0,20	5,44 c	4,69 c	0,43 c	2,56 b	6,36 a
0,20 - 0,30	5,43 c	4,68 c	0,44 c	2,25 c	5,78 b
0,30 - 0,40	5,63 b	4,89 b	0,23 b	2,10 c	4,6 c
Média	3,51	4,9	0,28	3,02	5,42
CV (%)	4,31	4,63	47,51	15,54	15,36

C.V. (%): Coeficiente de variação em porcentagem. Médias seguidas por letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey $p < 0,05$.

A acidez subsuperficial em solos argilosos do cerrado é um efeito esperado, principalmente devido a presença do alumínio tóxico, característico dos solos deste bioma (SOUZA e LOBATO, 2004). Isso pode ser confirmado ao observar a presença de alumínio e do íon H+Al neste estudo, que aumentam suas concentrações em profundidade mesmo com as realizações de calagem e gessagem na área.

O teor de Ca⁺² denota a carência do elemento nas camadas subsuperficiais em relação à camada 0,10 – 0,20 m, ressaltando a relação existente da concentração de Ca⁺² e Mg⁺² no solo e o pH, sendo diretamente proporcionais. A redução desses elementos, associados a redução do pH do solo, são elementos indicadores da necessidade de calagem.

Em vista disto, os efeitos do tempo, em relação a última calagem, ficam expressos nas camadas avaliadas, apresentando uma re-acidificação natural do solo, de modo a formar um gradiente de nutrientes e acidez, onde a decomposição do material vegetal não supre as camadas subsuperficiais, tornando a camada 0,10 – 0,20 m a camada diagnóstico para uma intervenção. O Al⁺³ e o H⁺ são os principais componentes da acidez do solo limitadores das culturas, por alta relação com o pH, sendo estes utilizados para a recomendação de calagem (NICOLODI et al., 2008).

Ao estudar o efeito dos anos da implantação do SPD nos atributos do solo, Diniz et. al (2021) observaram que entre 10 a 12 anos de implantação do sistema se faz necessário uma calagem corretiva, visto que os valores de cátions reduzem e os íons H⁺+Al⁺³ se elevam no solo, atingindo valores em torno de 4,92 a 5,05 e 4,73 a 6,16, respectivamente. Estes valores apresentados por Diniz et. al (2012) convergem com os valores observados, sobretudo em profundidade, o que reforça a necessidade de calagem na área.

De forma paralela, Possamai et. al (2020) avaliando os SILP em sistemas de plantio convencional e direto observaram que tanto o tempo como as doses de calcário e adubos nitrogenados afetam a acidez efetiva do solo e a concentração de alumínio tóxico. Dessa forma os autores relatam que o tempo é um fator determinante para reduzir os valores de pH e elevar o alumínio tóxico no solo, apresentando efeitos reduzidos quando realizada a calagem e elevados com o uso de adubos nitrogenados.

A soma de bases, CTC, CTC efetiva e saturação por bases (v%) foram superiores na camada superficial do solo, 7,17, 12,13 e 7,2 % respectivamente, reduzindo gradualmente seus valores em profundidade, enquanto a saturação por alumínio (m%) apresentou o menor valor, 1,32, na camada superficial (Quadro 4). Nota-se que, tanto a soma de bases quanto a CTC efetiva, apresentam efeitos diretos relacionados com a acidez do solo, reduzindo seus valores em paralelo com a redução do pH e que a aplicação superficial de corretivos, corrigiu somente até 10 cm de profundidade.

Quadro 4. Soma de bases (SB), CTC e CTC efetiva, m (%) e V (%) Quadro 1. pH em água e CaCl, AL⁺³, H+Al⁺³ do solo em função da profundidade. Dourados – MS, 2022.

Profundidade	SB	CTC	CTC efetiva	m (%)	v (%)
0,00 - 0,10	7,17 a	12,13 a	7,2 a	1,32 c	59,17 a
0,10 - 0,20	3,67 b	10,05 b	4,14 b	12,85 a	37,11 b
0,20 - 0,30	3,25 ab	9,04 c	3,67 c	13,77 a	36,52 b
0,30 - 0,40	2,96 b	7,57 d	3,17 d	7,22 b	39,29 b
Média	4,23	9,69	4,55	8,79	43,02
CV (%)	20,02	8,25	16,72	47,08	14,26

C.V. (%): Coeficiente de variação em porcentagem. Médias seguidas por letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey $p < 0,05$.

Já os valores observados para saturação por alumínio (m%) neste trabalho são considerados baixos (inferiores a 15%), o que favorece a absorção e armazenamento de nutrientes pelos coloides do solo, bem como sua disponibilização as culturas. Apesar de que na camada que compreende a profundidade de 0,10 - 0,30 m a saturação por alumínio ser mais elevada, ainda não caracteriza uma condição de camada saturada que impeça o bom crescimento e desenvolvimento de raízes da maioria das plantas cultivadas (BRADY e WEIL, 2013).

Para as culturas comerciais, em geral, a saturação por bases (v%) média da área em profundidade (43,02%) é superior ao mínimo de 30%, recomendado para a soja por Souza e Lobato (2004) para as áreas de Cerrado. Ao analisar a camada superficial (59,17%), superior as demais em profundidade, nota-se que está acima da média

recomendada para elevadas produtividades da soja, sendo necessário apenas elevar em profundidade os valores de v%.

Utilizado como um indicador eficaz da qualidade geral da fertilidade do solo, a saturação de bases deve estar, para a maioria das culturas em valores de 50 a 80% (SILVA et al., 2017). O valor médio neste estudo está dentro do indicado na camada superficial, 0,0-0,10 m, e inferior ao recomendado nas subcamada, de modo que, a camada superficial foi, região com maior concentração de raízes da soja, a que mais contribuiu para a nutrição das plantas, que associado a condições climáticas favoráveis e com chuvas regulares, foi capaz de suprir as necessidades culturais para alta produtividade.

Os teores de fósforo observados (Quadro 5), nas profundidades avaliadas, denotam a característica principal de baixa mobilidade do fósforo. O maior valor observado foi na camada superficial do solo (48,11), valor expressivo em relação as demais profundidades, possivelmente justificada pela adubação realizada nesta camada de solo a cada plantio. Sendo possível observar uma redução progressiva da concentração de fósforo com a profundidade do solo avaliado, a camada superficial torna-se a principal fonte de fosforo para as plantas.

Quadro 5. Teor de Fósforo (P), Cobre (Cu^{+2}), Manganês (Mn^{+2}), zinco (Zn^{+}), Carbono total (Ct) e Matéria Orgânica (MO) do solo em função da profundidade. Dourados – MS, 2022

Profundidade	P					
	(melich) mg dm^{-3}	Cu^{+2} ----- mmolc dm^{-3}	Mn^{+2} mmolc dm^{-3}	Zn^{+} -----	Ct g dm^{-3}	MO (%)
0,00 - 0,10	48,11 a	10,01 ab	62,28 a	4,92 a	1,94 a	33,46 a
0,10 - 0,20	8,08 b	10,50 a	30,58 b	0,70 b	1,39 b	23,94 b
0,20 - 0,30	3,68 c	9,94 b	26,64 b	0,36 b	1,25 c	21,70 c
0,30 - 0,40	2,10 c	8,18 c	19,31 c	0,27 b	1,09 d	18,84 d
Média	32,88	9,65	34,7	1,56	1,42	24,49
CV (%)	15,49	9,17	27,14	64,13	14,85	14,84

C.V. (%): Coeficiente de variação em porcentagem. Médias seguidas por letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey $p < 0,05$.

Schiavo et al. (2011) relatam que em SPD com rotação entre gramíneas e soja há a redução de fósforo em profundidade do solo, entretanto integrar a sucessão entre cultivos de grãos anuais com pastagens possibilita, não só manter o estoque de matéria orgânica no solo, mas também a qualidade dos atributos químicos, como no caso da concentração e incorporação de fósforo nas camadas do solo.

As concentrações de carbono orgânico total e matéria orgânica do solo seguiram a tendência de redução de valores com o aumento da profundidade do solo. A

maior quantificação dessas variáveis em superfície pode ser justificada pela não incorporação do resíduo vegetal frente ao sistema de plantio com baixo revolvimento do solo. Boddey et al. (2008) ressaltam que, apesar de comum, dados semelhantes ao encontrados no estudo, a comparação de estoque de carbono da camada arável pode apresentar valores subestimados com a adoção de sistemas conservacionistas, como o SPD e o SILP.

Para além da redução gradativa dos níveis de matéria orgânica do solo em profundidade, é possível incrementar esse parâmetro sem revolver o solo, e sim variando os sistemas de cultivo. Schiavo et al. (2011) demonstram que o cultivo de milho e capins solteiros ou consorciados são capazes de alterar positivamente os valores de matéria orgânica do solo em profundidade de acordo com o sistema de cultivo e espécies cultivadas. Isso denota a importância da rotação de culturas para a manutenção do sistema.

O estudo demonstrou efeito dos sistemas de cultivo para Al^{+3} , soma de bases (SB), CTC efetiva, saturação por alumínio (m%) e saturação por bases (v%) (Quadro 6), além de variar a concentração de cálcio (Ca^{+2}), fósforo (P), cobre (Cu^{+}) e zinco (Zn^{+}) (Quadro 7).

Quadro 6. Teor de Alumínio (Al^{+3}), soma de bases (SB), CTC efetiva, saturação por alumínio (m%) e saturação por bases (v%) do solo em função dos tratamentos de cultivo. Dourados – MS, 2022

Tratamentos	Al^{+3}		CTC efetiva	m (%)	V (%)
	Al^{+3}	SB			
Sucessão soja/milho	0,3500 b	4,2 b	4,52 b	10,45 b	39,83 b
Rotação 1	0,4937 a	3,56 b	4,03 b	18,3 a	37,33 b
Rotação 2	0,2562 c	4,13 b	4,4 b	83,7 b	40,33 b
Rotação 3	0,3437 b	4,02 b	4,38 b	9,45 b	39,72 b
Pasto 1,5 anos	0,1812 c	4,86 a	5,04 a	6,36 c	48,99 a
Pasto 2,5 anos	0,3312 b	4,09 b	4,38 b	9,13 b	42,19 b
Pasto 3,5 anos	0,2937 b	4,07 b	4,31 b	8,59 b	42,28 b
Pasto 4,5 anos	0,1687 c	4,71 a	4,91 a	3,88 c	48,87 a
Pasto 5,5 anos	0,1562 c	4,75 a	4,92 a	4,58 c	48,87 a
Média	0,28	4,26	4,54	8,79	43,02
CV (%)	47,51	20,02	16,72	47,08	14,26

Médias seguidas por letras minúsculas iguais não diferem entre si para profundidade e letras maiúsculas iguais não diferem entre si para sistemas de cultivo a $p < 0,05$ pelo teste de Scott-Knott. CV (%), Coeficiente de variação em porcentagem.

Nota-se que na Rotação 2 e nos pastos cultivados a 1,5, 4,5 e 5,5 anos há uma menor concentração de Al^{+3} em relação às áreas com cultivos agrícolas na mesma época, entre 0,1562 a 0,2562, sendo que na Rotação 1 o acúmulo de Al^{+3} foi superior em relação aos demais sistemas. Os valores para saturação por alumínio apresentaram

comportamento convergente à concentração de Al^{+3} , com exceção da Rotação 1, demonstrando redução de seus valores quando se tem o cultivo de pasto, variando nos menores valores entre 3,38 e 6,36%. Desse modo pode-se observar que, com base nos demais tratamentos, o cultivo de pasto em sistema integrado, em curto ou em longo prazo de implantação, pode contribuir na redução da concentração de Al^{+3} do solo sob estas condições, visto que todos os tratamentos receberam a mesma dose de calcário quando corrigidas inicialmente.

Um dos fatores para elevar o teor e a saturação por Al^{+3} nas áreas pode ser atribuído ao período em relação ao tempo de aplicação da última calagem realizada na área, o que afeta diretamente a saturação por bases do solo. De forma correlata Santos et al. (2009) e Souza (2018) observaram o aumento da saturação por alumínio e a redução da saturação por bases em áreas com a instalação de pastagem e intervalos mais longos entre calagens em decorrência da acidificação do solo.

Os valores observados para soma de bases, CTC efetiva e saturação por bases (m%) apresentam comportamento semelhante entre si, demonstrando elevação de seus valores em relação aos tratamentos com 1,5, 4,5 e 5,5 anos de cultivo de pastagem, diferindo estatisticamente dos demais tratamentos. Embora todos os tratamentos apresentem saturação por bases do solo inferiores a 50%, o que por si já indica uma necessidade de correção da fertilidade do solo, fica expresso a potencialidade do cultivo de pasto em curto período de tempo (1,5 anos) na manutenção da fertilidade. Os valores observados mostram que os períodos mais longos de cultivo de pasto apresentam maiores valores que os demais cultivos, demonstrando que esse sistema pode contribuir para a manutenção da fertilidade do solo quando bem manejado.

Azevedo (2019) observou que em SILP e em integração lavoura pecuária floresta (SILPF), há uma interferência na saturação por bases do solo de acordo com o regime hídrico das estações, de modo que esses sistemas contribuem para manter a fertilidade do solo nos meses de seca. Esta pode ser uma contribuição para os resultados encontrados, uma vez que nas áreas com o cultivo de pasto por mais anos observa-se valores maiores de saturação por base do solo.

Outro fator a contribuir para a redução da fertilidade do solo está relacionado a extração e exportação dos elementos pela produtividade de grão em cultivo nas duas safras frente o cultivo de pasto. Embora ocorra também extração e exportação dos elementos por meio da pastagem, a ciclagem de nutrientes é muito mais intensa nesses sistemas, tanto pela ação de extração e decomposição das raízes no solo como pelo

acúmulo e decomposição da palhada associado aos dejetos dos animais em superfície, que contribuem para a manutenção da fertilidade nos intervalos entre as calagens (FLORES et al., 2008; REGO, 2019).

É possível observar que os teores de Ca^{+2} apresentam valores estatisticamente superiores nas áreas com cultivo de pasto Cultivados a 1,5, 4,4 e 5,5 anos. De forma semelhante o P apresenta maiores valores quando o pasto cultivado a mais tempo, sendo que a sucessão soja- milho, os sistemas de rotações e cultivo de pasto a 1,5 anos apresentaram os menores valores parra estes macronutrientes no solo (Quadro 7).

Quadro 7. Teor de Cálcio (Ca^{+2}), Fósforo (P), cobre (Cu^{+}) e zinco (Zn^{+}) do solo em função dos tratamentos de cultivo. Dourados – MS, 2022

Tratamentos	Ca^{+2} mmolc dm^{-3}	P (melich) mg dm^{-3}	Cu^{+} mmolc dm^{-3}	Zn^{+} mmolc dm^{-3}
Sucessão soja/milho	2,56 b	17,94 c	9,66 a	1,47 b
Rotação 1	2,77 b	13,52 c	9,41 b	1,51 b
Rotação 2	2,95 b	7,35 d	9,15 b	1,06 b
Rotação 3	2,75 b	12,37 c	9,90 a	1,31 b
Pasto 1,5 anos	3,50 a	10,59 c	10,36 a	1,20 b
Pasto 2,5 anos	2,83 b	20,07 a	10,11 a	2,21 a
Pasto 3,5 anos	3,00 b	17,51 b	9,73 a	1,55 b
Pasto 4,5 anos	3,53 a	23,18 a	9,29 b	1,53 b
Pasto 5,5 anos	3,32 a	17,02 b	9,29 b	2,23 a
Média	3,02	32,88	9,65	1,56
CV (%)	15,54	15,49	9,17	64,13

Médias seguidas por letras minúsculas iguais não diferem entre si para profundidade e letras maiúsculas iguais não diferem entre si para sistemas de cultivo a $p < 0,05$ pelo teste de Scott-Knott. CV (%), Coeficiente de variação em porcentagem.

Ao analisar os atributos químicos do solo em sistemas integrados de um Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico, Stieven et al. (2018) também observaram redução dos teores de Ca^{+2} nas áreas com cultivo de grãos. Isso reflete a importância e essencialidade que este elemento apresenta na formação de células vegetais, exportação em grãos, no caso das culturas graníferas, e ainda sua relevância na complexação de elementos tóxicos como o ferro e alumínio, abundantes em solos do Cerrado (TAIZ et al. 2017).

Entretanto, a disponibilidade tanto de Ca^{+2} , como a de Mg^{+2} , está relacionada aos meses de elevada pluviosidade e ao sistema de semeadura da cultura. De modo que água proveniente das condições climáticas promovem um maior aporte de matéria orgânica no solo, o que tende a elevar os teores destes elementos, bem como promover a redução de Al trocável no solo, sobretudo quando realizado o cultivo em SPD (PAVINATO et al., 2009; AZEVEDO 2019).

Apesar de em todos os tratamentos o nível de fósforo estarem na faixa de alto, o menor teor de P observado nas culturas em rotação com a soja e em períodos mais curtos de pastagem, em relação ao cultivo prolongado de pasto, pode ser explicado pelo fato de nos tratamentos de rotação e sucessão soja-milho, as plantas cultivadas, como as leguminosas do sistema em histórico, apresentarem uma baixa relação C/N, o que acelera sua decomposição. Já a disponibilidade de fósforo pode estar ligada a velocidade da decomposição desta MO, uma vez que este processo promove a formação de compostos orgânicos complexos de Fe^{+2} e Al^{+3} , o que inviabiliza a formação de compostos insolúveis de P, bem como de compostos que podem dissolver o P encontrados em formas insolúveis na solução do solo (MOLINE e COUTINHO, 2015).

Vários autores relatam que o emprego do SPD associado a rotação de culturas anuais incrementam os teores de matéria orgânica (PAIVA et al., 1997) a capacidade de troca catiônica (SOUZA e ALVES, 2003), além de promover aumento nos teores das bases trocáveis e do P disponível (FRANCHINI et al., 1999; ALMEIDA et al., 2005), e reduzir os tores de Al^{+3} do solo (ALMEIDA et al., 2005). Todos esses fatores podem ser observados neste trabalho de modo que, principalmente para a redução do Al^{+3} , a rotação de culturas em outono-inverno foi favorável para promover a qualidade química do solo.

Ao observar os valores obtidos para Cu^{+2} e Zn^{+2} , nota-se uma tendência semelhante para esses micronutrientes, de modo que os maiores teores de Cu^{+2} e Zn^{+2} (Quadro 7) foram observados nos tratamentos intermediários a longo prazo de cultivo de pasto (sucessão soja-milho, Rotação 3 e pastos implantados a 1,5 a 5, anos). Isso denota que os sistemas em questão são propícios para a decomposição da matéria orgânica e contribuem para a manutenção dos valores destes micronutrientes no solo.

Segundo Assis et al. (2019), os teores de Cu^{+2} apresentam relação com o carbono orgânico do solo, uma vez as fontes deste micronutriente estão altamente vinculadas à matéria orgânica. Em seu estudo, os autores relatam maiores valores de Cu^{+} em pastagem degradada, justamente pelo fato do revolvimento do solo para a recuperação destas áreas, o que acelerou a decomposição do material orgânico presente no solo.

Ocorreu interação entre profundidade e sistemas de cultivo para os teores de potássio no solo (Quadro 8). Os dados mostram que a maiores teores de K são observados na camada superficial do solo (0,00-0,10 m), sendo possível observar que nos tratamento com rotação de culturas, na entressafra da soja, há redução da concentração de K nas camadas mais profundas é mais acentuada sob o sistema de Rotação 2 e na sucessão soja-milho. Entretanto Ferreira et al. (2009) observaram que a redução em gradiente do K no

perfil do solo é mais acentuada após o cultivo de pasto em relação ao cultivo da soja em um SILP.

Quadro 8. Teor de Potássio (K^+) em função da interação entre a profundidade do solo e as épocas de cultivo. Dourados – MS, 2022

Tratamentos	K^+								
	0,0-0,10		0,10-0,20		0,20-0,30		0,30-0,40		
Sucessão soja/milho	1,035	aA	0,630	a B	0,447	a C	0,335	aC	
Rotação 1	0,395	dA	0,147	b B	0,115	cB	0,095	bB	
Rotação 2	0,520	cA	0,357	b B	0,282	bC	0,122	bD	
Rotação 3	0,637	cA	0,282	b B	0,195	cB	0,157	bB	
Pasto 1,5 anos	0,567	cA	0,270	b B	0,170	cB	0,082	bB	
Pasto 2,5 anos	0,542	cA	0,217	b B	0,147	cB	0,117	bB	
Pasto 3,5 anos	0,622	cA	0,202	b B	0,132	cB	0,097	bB	
Pasto 4,5 anos	0,757	bA	0,332	b B	0,170	cC	0,112	bC	
Pasto 5,5 anos	0,807	aA	0,315	b B	0,140	cC	0,142	bC	
Média								0,325	
CV (%)								34	

Médias seguidas por letras minúsculas iguais não diferem entre si para profundidade e letras maiúsculas iguais não diferem entre si para sistemas de cultivo a $p < 0,05$ pelo teste de Scott-Knott. CV (%), Coeficiente de variação em porcentagem.

Pavinato et al. (2009) observaram maior teor de K na camada arável de um Latossolo Vermelho Distrófico (até 0,15 m), com redução gradual após esta profundidade, tanto para plantio direto como para cultivo convencional, convergindo ao observado neste estudo. O comportamento observado para os teores de K na camada superficial em função do manejo resulta da deposição de material orgânico em superfície, sendo disponibilizado mais rapidamente na camada arável devido a decomposição, em detrimento das demais camadas.

É possível observar que na Rotação 1, na camada superficial, ocorre o menor teor de K ($0,395 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$), provavelmente pelo fato de ter como cultura antecessora o feijão-caupí, que apresenta uma relação C/N baixa e distribuição de resíduos não uniforme em superfície, o que possibilita a redução deste nutriente na camada. Nos tratamentos em que a cultura antecessora foram pasto ou consorcio, nota-se uma uniformidade do teor de K na camada superficial, um vez que a cultura cobre uniformemente a área e os animais em pastejo contribuem para a redistribuição de nutrientes pelo consumo, desfolha da pastagem e pelo seu retorno ao solo via excreção (Assis et al., 2019).

O elevado teor de K observado na sucessão soja-milho ($1,035 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$, na camada 0,0-0,10 m) pode ser explicado pela extração deste nutriente que é o segundo

nutriente mais extraído do solo pelas gramíneas forrageiras, associado à exportação deste pelos grãos de milho e soja (PRIMAVESI et al., 2006), uma vez que no sistema de sucessão não ocorre o cultivo de gramíneas forrageiras a reserva deste nutriente torna-se maior no solo. Uma maior extração de K do solo também foi observada por Batista et al. (2011) no cultivo consorciado, devido ao acúmulo do nutriente nas gramíneas e exportação pelo milho quando comparado a outros nutrientes.

Corroborando com o maior valor observado para K em sistema de sucessão soja-milho, Souza (2018) observou resultados semelhantes, sobretudo em profundidade, ao estudar os efeitos dos cultivos de milho solteiro, consorciado e cultivo de gramíneas forrageiras sobre a qualidade química do solo.

Salton et al. (2014) relatam que para o máximo acúmulo de matéria orgânica e elevada ciclagem de nutrientes em profundidade sob o cultivo de gramíneas, o sistema radicular necessita se manter ativo e vigoroso por maior parte de tempo. Neste caso, a pastagem em sucessão a soja, se mantinha por no máximo 9 meses, a partir da semeadura à dessecação, o que pode explicar o reduzido efeito dos sistemas de cultivo em profundidade, tanto para K^+ como para Mg^{+2} (Quadro 8).

Houve interação para o magnésio (Mg^{+2}) entre os sistemas de cultivo estudados e as profundidades do solo avaliadas (Quadro 9). De forma semelhante ao comportamento observado para os teores de potássio, o Mg^{+2} apresentou teores mais elevados na camada superficial do solo (0,00-0,10 m), entretanto nas demais camadas os teores deste micronutrientes não diferiram estatisticamente, ou seja, não apresentaram decréscimo gradual considerável em razão da profundidade do solo.

Quadro 9. Teor de Magnésio (Mg^{+2}) em função da interação entre a profundidade do solo e as épocas de cultivo. Dourados – MS, 2022

Tratamentos	Mg^{2+}							
	0,0-0,10		0,10-0,20		0,20-0,30		0,30-0,40	
Sucessão soja/milho	1,912	aA	0,915	a B	0,790	b B	0,677	a B
Rotação 1	1,327	bA	0,707	b B	0,555	b B	0,545	a B
Rotação 2	1,665	aA	1,022	a A	0,810	b B	0,745	a B
Rotação 3	1,905	aA	0,782	b B	0,702	b B	0,650	a B
Pasto 1,5 anos	1,980	aA	1,082	a B	1,050	a B	0,797	a B
Pasto 2,5 anos	1,545	bA	0,925	a B	0,932	a B	0,892	a B
Pasto 3,5 anos	1,320	bA	0,755	b B	0,850	b B	0,782	a B
Pasto 4,5 anos	1,442	bA	0,837	b B	0,892	a B	0,837	a B
Pasto 5,5 anos	1,800	aA	1,075	a B	1,072	a B	0,970	a B
Média				1,0431				
CV (%)				17,76				

Médias seguidas por letras minúsculas iguais não diferem entre si para profundidade e letras maiúsculas iguais não diferem entre si para sistemas de cultivo a $p < 0,05$ pelo teste de Scott-Knott. CV (%), Coeficiente de variação em porcentagem.

Em função dos sistemas de cultivo, é possível observar que na camada superficial, 0,00-0,10 m, a sucessão soja-milho, as rotações 1 e 3 e o pasto cultivado a 1,5 e 5,5 anos apresentaram os teores mais elevados de Mg^{+2} , sem diferirem entre si. Na camada subsuperficial (0,10-0,20 m) a sucessão soja milho, Rot. 3 e pasto cultivado a 1,5, 2,5 e 5,5 apresentaram os maiores valores para Mg^{+2} em função dos sistemas de cultivo, entretanto nota-se que na maior profundidade (0,30 – 0,40 m), não houve diferença estatística para a concentração de Mg^{+2} .

A relação observada entre os elementos Ca^{+2} e Mg^{+2} apresentam uma inter-relação devido as suas propriedades químicas semelhantes, como o raio iônico, valência, grau de hidratação e mobilidade. Dessa forma, no solo pode ocorrer uma competição ente Ca^{+2} e Mg^{+2} pelos sítios de adsorção do solo, de modo que a presença de um prejudique os processos de adsorção e absorção do outro (SALVADOR et al., 2011). Assim, pode-se explicar o fato de o Mg^{+2} em profundidade estar estável e o Ca^{+2} apresentar um gradiente de redução de teor em profundidade do solo nos sistemas estudados.

Estudando sistemas de cultivo Pavinato et al. (2009) relatam que o Mg^{+2} apresentou maiores valores na camada superficial do solo em detrimento das demais camadas, sendo que o teor de Ca foi mais estável no perfil do solo quando em SPD, já em sistema de plantio convencional os maiores valores deste elementos foram observados em profundidade. Os autores ressaltam que em SPD a concentração de Ca^{+2} e Mg^{+2} tende a ser superior nas primeiras camadas, justamente por serem adsorvidos pelas cargas negativas da superfície, promovendo sua permanência nesta camada.

CONCLUSÕES

O cultivo de pasto antecedendo a soja promove melhorias na qualidade química do solo.

A saturação por bases no solo é reduzida de forma mais intensa nos sistemas em que há o cultivo de culturas graníferas (milho e caupí) em outono-inverno, em relação ao cultivo de pastagem, sendo necessária a reposição de nutrientes do solo em intervalos mais curtos para a manutenção da fertilidade da área.

A rotação de culturas incrementa a concentração de nutrientes, sobretudo de micronutrientes, na camada superficial do solo, sendo efetiva na ciclagem de nutrientes em perfil e disponibilização para as culturas sucessoras.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, J. M.; BERTOL, I.; LEITE, D.; AMARAL, A. J.; ZOLDAN JR., W. A. Propriedades químicas de um cambissolo húmico sob preparo convencional e semeadura direta após seis anos de cultivo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, p. 437-445, 2005.
- ASSIS, P. C. R.; STONE, L. F.; OLIVEIRA, J. M.; WRUCK, F. J.; MADARI, B. E.; HEINEMANN, A. B. Physical, chemical and biological attributes in integrated crop-livestock-forestry systems. **Revista Agrarian**, v. 12, n. 43, p. 57-70. Dourados, 2019.
- AZEVEDO, S. D. **Qualidade físico-química do solo sob sistema de integração lavoura pecuária floresta no município de Terra Alta, PA**. Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém. Tese, 51 f. 2019.
- BALBINO, L. C.; CORDEIRO, L. A. M.; SILVA, W. P.; MORAES, A.; MARTÍNEZ, G. B.; ALVARENGA, R. C.; KICHEL, A. N.; FONTANELI, R. S.; SANTOS, H. P.; FRANCHINI, J. C.; GALERANI, P. R. Evolução tecnológica e arranjos produtivos de sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, n.10, 2011.
- BATISTA, K.; DUARTE, A. P.; CECCON, G.; DE MARIA, I. C.; CANTARELLA, H. Acúmulo de matéria seca e de nutrientes em forrageiras consorciadas com milho safrinha em função da adubação nitrogenada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, n. 10, p. 1154-1160, 2011.
- BODDEY, R.M.; JANTALIA, C.P.; ALVES, B.J.R.; URQUIAGA, S. Comments on “no-tillage and soil-profile carbon sequestration: an on-farm assessment”. **Soil Science Society of America Journal**, v.73, p. 688-689, 2008.
- BONINI, C. S. B.; LUPATINI, G. C.; ANDRIGHETTO, C.; MATEUS, G. P.; HEINRICH, R.; ARANHA, A. S.; SANTANA, E. A. R.; MEIRELLES, G. C. Produção de forragem e atributos químicos e físicos do solo em sistemas integrados de produção agropecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, n. 9, p. 1695-1698, 2016.
- Brady, N. C., & Weil, R. (2013). Elementos da natureza e propriedades do solo. **Elementos da natureza e propriedades do solo** (3ª ed.), (716). Porto Alegre: Bookman.
- CORDEIRO, L. A.; VILELA, L.; MARCHÃO, R.; KLUTHCOUSKI, J.; JÚNIOR, G. B. M. Integração Lavoura-pecuária e integração Lavoura-Pecuária-Floresta: Estratégias para intensificação sustentável do Uso do Solo. **Caderno de Ciência Tecnologia**. v.32, p.1015-1024, 2015.
- COSTA, N. R.; ANDREOTTI, M.; LOPES, K. S. M.; YOKOBATAKE, L.; FERREIRA, J. P.; PARIZ, C. M.; BONINI, C. S. B.; LONGHINI, V. Z. Atributos do Solo e Acúmulo de Carbono na Integração Lavoura-Pecuária em Sistema 30 Plantio Direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, n. 3, p. 852-863, 2015.
- DINIZ, A. P. M. J.; ARAGÃO, M. C.; EL-HUSNY, J. C.; PEREIRA, G. M.; HUNGRIA, L. C.; DA SILVA, B. S. N.; Atributos químicos do solo sob sistema de plantio direto

como indicador de sustentabilidade ambiental. **Brazilian journal of development**, v. 7, n. 1, p. 3130-3152, 2021.

FERREIRA, E. V. O.; ANGHINONI, I.; CARVALHO, P. C. F.; COSTA, S. E. V. G. A.; CAO, E. G. Concentração do potássio do solo em sistema de integração lavoura-pecuária em plantio direto submetido a intensidades de pastejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 6, p. 1675-1684, 2009.

FIETZ, C. R.; FISCH, G. F.; COMUNELLO, E.; FLUMIGNAN, D. L. **O clima da Região de Dourados, MS**. 3. ed. rev. e atual. - Dourados, MS: Embrapa Agropecuária Oeste, 2017. 31 p. (Documentos 138 - Embrapa Agropecuária Oeste).

FLORES, J. P. C. et al. Chemical attributes of an oxisol under no-tillage submitted to surface liming and distinct grazing pressures in a crop-livestock integration system. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, n.6, p.2385-2396, 2008.

FRANCHINI, J. C.; MIYAZAWA, M.; PAVAN, M. A.; MALAVOLTA, E. Dinâmica de íons em solo ácido lixiviado com extratos de resíduos de adubos verdes e soluções puras de ácidos orgânicos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 34, p 2267- 2276, 1999.

KUNDE, R. J.; LIMA, A. C. R.; SILVA, J. L. S.; VALGAS, R. A.; KOHLER, T. W.; PILLON, C. N. Qualidade física, química e biológica de um Neossolo Litólico sob integração lavoura-pecuária no Bioma Pampa. **Research, Society and Development**, n. 9, v. 10, e7399109015, 2020.

LOBATO, D. M. G., LOBATO, E. **Cerrado: correção do solo e adubação**/ Editores Técnicos Djalma Martinhão Gomes de Souza, Edson Lobato – 2 ed. – Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 416 p., 2004.

LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; GIÁCOMO, S. G.; PERIN, A.; ANJOS, L. H. C. Agregação, carbono e nitrogênio em agregados do solo sob plantio direto com integração lavoura-pecuária. **Pesquisa agropecuária brasileira Brasília**, v. 46, n. 10, p. 1269-1276, 2011.

MOLINE, E. F. V; COUTINHO, E. L. M. Atributos químicos de solos da Amazônia Ocidental após sucessão da mata nativa em áreas de cultivo. **Revista de Ciências Agrárias/Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences**, v. 58, n. 1, p. 14-20, 2015.

MORAES, A.; CARVALHO, P. C. F.; CRUSCIOL, C. A. C.; LANG, C. R.; PARIZ, C. M.; DEISS, L.; SULC, R. M. Integrated Crop-Livestock Systems as a solutions facing the destruction of Pampa as Cerrado Biomes in South America by intensive monoculture systems. **Agroecosystem diversity**, p. 257-273, 2019.

NICOLODI, M., ANGHINONI, I., GIANELLO, C. Indicadores da acidez do solo para recomendação de calagem no sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v.32, p. 237-247, 2008.

PAIVA, P.L.R.; FURTINI NETO, A.E.; VALE, F.R. & FAQUIN, V. Efeito do manejo do solo sobre os teores de matéria orgânica, nitrogênio mineral, fósforo e bases trocáveis. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 21, p. 35–43, 1997.

PAVINATO, P. S.; ROSOLEM, C. A. Disponibilidade de nutrientes no solo: decomposição e liberação de compostos orgânicos de resíduos vegetais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 3, p. 911–920, 2008.

POSSAMAI, E. J.; CONCEIÇÃO, P. C.; HASKEL, M. K.; STUMPF, L.; PAIER, C. D.; ROSA, J. K.; SARTOR, L. R. Atributos químicos de solo em integração lavoura-pecuária de longa duração. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 11, e2169119632, 2020.

PRIMAVESI, A. C.; PRIMAVESI, O.; CORRÊA, L. A.; SILVA, A. G.; CANTARELLA, H. Nutrientes na fitomassa de capim-marandu em função de fontes e doses de nitrogênio. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 30, n. 3, p.562-568, 2006.

RAIJ, B. VAN.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2. ed. rev. Campinas: IAC. 279 p. (Boletim Técnico, 100), 1996.

REGO, C. A. R. M. **Contribuições do sistema de integração lavoura-pecuária sobre os atributos químicas, frações da matéria orgânica e índice de manejo de carbono em Latossolo Vermelho**. Dissertação (mestrado), Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Campus Marechal Candido Rondon, 68 p., 2019.

REGO, C. A. R. M.; OLIVEIRA, P. S. R.; PIANO, J. T.; EGEWARTH, J. F.; EGEWARTH, V. A.; HERRERA, J. L.; GONÇALVES JUNIOR, A. C. Chemical properties and physical fractions of organic matter in oxisols under integrated agricultural production systems. **Revista de Agricultura Neotropical**, v. 7, n 3, p. 81-89, 2020.

SALES, A.; VELOSO, C. A. C.; SILVA, A. R. Dinâmica de sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta nos atributos físicos de um latossolo amarelo. IN: SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E SEMINÁRIO DE PÓS-GRADUAÇÃO DA EMBRAPA AMAZÔNIA ORIENTAL, 19., 2015, Belém. **Anais Pará: Embrapa Amazônia Oriental**, 2015. 18p. p.14.

SALTON, J. C.; MERCANTE, F. M.; TOMAZI, M.; ZANATTA, J. A.; CONCENÇO, G.; SILVA, W. M.; RETORE, M. Integrated crop-livestock system in tropical Brazil: Toward a sustainable production system. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 190, p.70-79, 2014.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; ARAUJO FILHO, J. C.; OLIVEIRA, J. B.; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**, 5 ed. Brasília, DF: Embrapa, 2018.

SANTOS, H. P.; FONTANELI, R. S.; SPERA, S. T.; DREON, G. Fertilidade e teor de matéria orgânica do solo em sistemas de produção com integração lavoura e pecuária sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 6, n. 3, p.474-482, 2011.

SANTOS, H. P.; FONTANELI, R. S.; SPERA, S.T.; TOMM, G. O. Efeito de sistemas de produção integração lavoura-pecuária (ILP) sobre a fertilidade do solo em plantio direto. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 31, n. 4, p.719-727, 2009.

SCHIAVO, J. A.; ROSSET, J. S.; PEREIRA, M. G.; SALTON, J. C. Índice de manejo de carbono e atributos químicos de Latossolo Vermelho sob diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília**, v. 46, n. 10, p. 1332-1338, 2011.

SOUZA, I. M. D. **Atributos físicos e químicos do solo e produtividade de milho em consórcio com gramíneas tropicais no sistema de integração lavoura-pecuária**. Dissertação (mestrado) Universidade de São Carlos, campus Araras, Araras – SP. 36 f. 2018.

SOUZA, Z.M. & ALVES, M.C. Propriedades químicas de um Latossolo Vermelho distroférico de cerrado sob diferentes usos e manejos. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 27, p. 133-139, 2003.

STIEVEN, A. C. et al. Soil chemical attributes in integrated systems. **Scientia Amazonia**, v. 7, n.1, p.60-67, 2018.

TAIZ, L. et al. **Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal**. 6.ed. Artmed: Porto Alegre, Brazil, 2017. 888p.

SILVA, K. R.; AMARAL, E. T. O. P.; OLIVEIRA, A. N.; MELLO, A. H.; OLIVEIRA, G. F. Indicadores químicos do solo sob diferentes usos e manejo no Lote 31 do projeto de assentamento Veneza no Sudeste do Pará. **Revista Agroecossistemas**, v. 9, n. 1, p. 227-235, ISSN on line 2318-0188, 2017.

SALVADOR, J. T.; CARVALHO, T. C.; LUCCHES, L. A. C. Relação cálcio e magnésio presentes no solo e teores foliares de macronutrientes. **Revista acadêmica Ciências Agrárias e Ambiental**, v. 9, n. 1, p. 27-32, 2011.

SOUZA, D. M. G.; LOBATO, E. **Cerrado: correção do solo e adubação**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 416 p., 2004.

RAIJ, B. Van; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas, Instituto Agrônomo, 284 p., 2001.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com os resultados obtidos, percebe-se que um bom planejamento de manejo de sistemas potencializa a produtividade, viabiliza a o melhor uso da terra, de forma a mantê-la um ambiente que conserve os atributos do solo.

Técnicas de manejo na cultura da soja, como a inoculação e a co-inoculação, quando bem realizadas, promovem incrementos produtivos a baixo custo, o que possibilita maior rentabilidade. Como se trata de uma biotecnologia, a inoculação na soja pode apresentar diferentes respostas, devido as influências de armazenagem, aplicação, condições climáticas e interação com produtos químicos.

Assim, a importância do bom conhecimento do manejo desta ferramenta seja realizada melhor forma realizados e potencializem a eficiência da tecnologia. Conhecer, por exemplo, os efeitos de herbicidas utilizados em dessecações entre cultivos sobre as bactérias que habitam o solo e associam-se às culturas pode colocar a viabilidade das biotecnologias em prova e, conseqüentemente, prejudicar a produtividade da cultura.

Os sistemas de manejo podem ser utilizados de forma pontual ou geral, no espaço e no tempo, a fim de melhorar um ou um conjunto de atributos do solo. Conhecer a influência das culturas ao longo do tempo em sistemas integrados possibilita essa tomada de decisão.

Neste caso, abandonar o sistema tradicional de sucessão de culturas, como a soja e o milho, pode ser a melhor alternativa. Ações como inserir um sistema de consorcio no outono-inverno, com milho e braquiária, reduz a densidade do solo e melhora a distribuição de seus poros, viabilizando tanto a produção de grãos como a cobertura do solo, sem esquecer de fornecer adubação equilibrada em cada plantio, visando manter a fertilidade do solo.

Um sistema de rotação de culturas, promove tanto melhorias na qualidade física quanto química do solo. Os sistemas radiculares das plantas, ao longo do tempo, promovem abertura de galerias de diferentes proporções no solo, beneficiando a porosidade total com manutenção dos agregados do solo, sendo visíveis em análises como o DRES. A rotação de culturas promove a ciclagem de nutrientes ao longo do perfil.

A utilização de áreas com pasto, promove melhorias nos atributos físicos e químicos do solo, principalmente na camada superficial do solo, com possibilidade de diversificação de renda na área produtiva, mantendo os conceitos conservacionistas de manejo do solo.

