

UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS

**ATRIBUTOS QUÍMICOS, FÍSICOS E BIOLÓGICOS DO SOLO E
PRODUTIVIDADE DA SOJA APÓS SISTEMAS DE RENOVAÇÃO
DE PASTAGEM**

DENISE PREVEDEL CAPRISTO

**DOURADOS
MATO GROSSO DO SUL**

2022

**ATRIBUTOS QUÍMICOS, FÍSICOS E BIOLÓGICOS DO SOLO E
PRODUTIVIDADE DA SOJA APÓS SISTEMAS DE RENOVAÇÃO DE
PASTAGEM**

DENISE PREVEDEL CAPRISTO

Engenheira Agrônoma

Orientador: PROF. DR. GESSÍ CECCON

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

Dourados

Mato Grosso do Sul

2022

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP).

C253a Capristo, Denise Prevedel

Atributos químicos, físicos e biológicos do solo e produtividade da soja após sistemas de renovação de pastagem [recurso eletrônico] / Denise Prevedel Capristo. -- 2022.

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>

I. Glycine max L. Merr.. 2. integração lavoura-pecuária. 3. qualidade do solo.. 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.

**“ATRIBUTOS QUÍMICOS, FÍSICOS E BIOLÓGICOS DO SOLO E PRODUTIVIDADE
DA SOJA APÓS SISTEMAS DE RENOVAÇÃO DE PASTAGEM”**

por

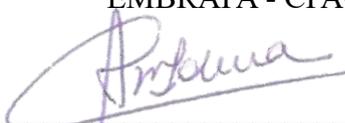
DENISE PREVEDEL CAPRISTO

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

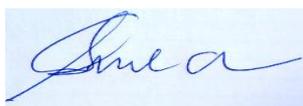
Aprovada em: 21/02/2022.



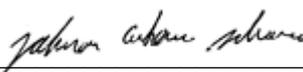
Prof. Dr. Gessi Ceccon
EMBRAPA - CPAO



Profa. Dra. Alessandra Mayumi T. Alovise
UFGD



Profa. Dra. Silvia Correa Santos
UFGD



Prof. Dr. Jolimar Antonio Schiavo
UEMS



Dra. Cíntia Gonçalves Guimarães
EMBRAPA AGROENERGIA

A Deus, pela saúde, fé e perseverança. Aos meus pais, pelo amor, dedicação e por todo esforço prestado na minha educação. Ao meu orientador Dr. Gessi Ceccon.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Universidade Federal da Grande Dourados, pela oportunidade.

A CAPES, pela concessão da bolsa de estudos.

Ao meu orientador Dr. Gessi Ceccon, pela dedicação, paciência e todos os conhecimentos passados a mim.

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

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

Aos meus pais Clabeir Conrado Capristo e Terezinha Lúcia Prevedel, por todo amor, carinho e dedicação.

Aos colegas estagiários da Embrapa, Amanda Gonçalves Guimarães, Carla Medianeira Giroletta dos Santos, Hadassa Kathyuci Antunes de Abreu, Odair Honorato de Oliveira e Ricardo Fachinelli, pela ajuda nas avaliações de campo e laboratório, pelos conselhos e amizade.

A todos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho, deixo aqui meus sinceros agradecimentos.

SUMÁRIO

RESUMO:	xii
ABSTRACT	xiii
INTRODUÇÃO	1
REVISÃO DE LITERATURA	2
Solos do Cerrado	2
Atributos microbiológicos do solo	3
Atividade enzimática do solo	4
Sucessão soja-milho safrinha	5
Consórcio de culturas	6
Importância socioeconômica da soja	7
MATERIAL E MÉTODOS	7
Caracterização do local e clima	7
Caracterização dos tratamentos e implantação do experimento	9
Avaliações	11
Atributos químicos	11
Atributos físicos	11
Atributos Microbiológicos	12
Atividade enzimática	13
β-glucosidase	13
Arilsulfatase	14
Fosfatase Ácida	14
Componentes de produtividade da soja	15
Análise estatística	15
RESULTADOS E DISCUSSÃO	15
Atributos químicos	15
Atributos físicos	23
Atividade enzimática	26
Atributos microbiológicos	28
Componentes de produtividade da soja	33
CONCLUSÕES	36
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	37
APÊNDICE A	46
APÊNDICE B	47

APÊNDICE C.....	48
APÊNDICE D.....	49
APÊNDICE E.....	50
APÊNDICE F.....	51
APÊNDICE G.....	52
APÊNDICE H.....	53
APÊNDICE I.....	54
APÊNDICE J.....	55

LISTA DE QUADROS

PÁGINAS

- QUADRO 1. Caracterização química e granulométrica do solo, na profundidade de 0 - 20 cm, realizada em agosto e setembro de 2018, antes da implantação dos experimentos, em Batayporã, MS (textura média) e Vicentina, MS (textura arenosa). 9
- QUADRO 2. Valores médios do pH CaCl₂, Al³⁺, H+Al, K⁺, P, CTC, V% e Ctotal na profundidade 0 - 10 cm, avaliados após a colheita da soja 2019-2020, em sistemas de renovação de pastagem, em Batayporã (textura média), MS (2020). 17
- QUADRO 3. Valores médios do Ca²⁺, Mg²⁺ e Ctotal na profundidade 10 - 20 cm, avaliados após a colheita da soja 2019-2020, em sistemas de renovação de pastagem, em Batayporã (textura média), MS (2020). 18
- QUADRO 4. Valores médios do Mg, Ctotal e MO na profundidade 20 - 30 cm, avaliados após a colheita da soja 2019-2020, em sistemas de renovação de pastagem, em Batayporã (textura média), MS (2020). 19
- QUADRO 5. Valores médios do Al³⁺, P, Ctotal e MO na profundidade 0 - 10 cm, avaliados após a colheita da soja 2019-2020, em sistemas de renovação de pastagem, em Vicentina (textura arenosa), MS (2020). 20
- QUADRO 6. Valores médios do Ca²⁺, K⁺, P, SB, CTC, Ctotal e MO na profundidade 10 - 20 cm, avaliados após a colheita da soja 2019-2020, em sistemas de renovação de pastagem, em Vicentina (textura arenosa), MS (2020). 21
- QUADRO 7. Valores médios da densidade do solo (Ds), macroporosidade e porosidade total (PT), na profundidade 10 - 20 cm, avaliados após a colheita da soja 2019-2020, cultivada em sistemas de renovação de pastagem, em Batayporã (textura média), MS (2020). 24
- QUADRO 8. Valores médios da densidade do solo (Ds), macroporosidade e porosidade total (PT), na profundidade 10 - 20 cm e macroporosidade (Ma), na profundidade 20 - 30 cm, avaliados após a colheita da soja 2019-2020, cultivada em sistemas de renovação de pastagem, em Vicentina (textura arenosa), MS (2020). 25
- QUADRO 9. Valores médios da atividade das enzimas β-glucosidase e fosfatase ácida no solo, avaliadas após a colheita da soja 2019-2020, cultivada em sistemas de renovação de pastagem, em Batayporã, MS (2020). 26

QUADRO 10. Valores médios da atividade das enzimas β -glucosidase, arilsulfatase e fosfatase ácida no solo, avaliadas após a colheita da soja 2019-2020, cultivada em sistemas de renovação de pastagem, em Vicentina, MS (2020).	28
QUADRO 11. Valores médios da atividade microbiana do solo (C-CO ₂), avaliada antes da semeadura da soja e do carbono da biomassa microbiana do solo (C-BMS) e quociente microbiano (q_{MIC}), avaliados no florescimento da soja na safra 2019-2020, em sistemas de renovação de pastagem, em Batayporã (textura média), MS (2020).	29
QUADRO 12. Valores médios do carbono da biomassa microbiana do solo (C-BMS), atividade microbiana do solo (C-CO ₂), quociente metabólico (q_{C-CO_2}) e quociente microbiano (q_{MIC}), avaliados antes da semeadura da soja e durante o florescimento da soja na safra 2019-2020, em sistemas de renovação de pastagem, em Vicentina (textura arenosa), MS (2020).	31
QUADRO 13. Valores médios da altura de plantas (AP), número de vagens por planta (NVPP), número de grãos por planta (NGPP), massa de cem grãos (MCG) e produtividade de grãos (PROD) da soja, cultivada em sistemas de renovação de pastagem, na safra 2019-2020, em Batayporã (textura média), MS (2020).	34
QUADRO 14. Valores médios do número de grãos por planta (NGPP), massa de cem grãos (MCG) e produtividade de grãos (PROD) da soja, cultivada em sistemas de renovação de pastagem, na safra 2019-2020, em Vicentina (textura arenosa), MS (2020).	35

LISTA DE FIGURAS

PÁGINA

- FIGURA 1. Precipitação pluviométrica acumulada (mm) e temperaturas máximas e mínimas (°C) em decêndios, registradas durante o cultivo da soja 2019/2020, em Batayporã, MS. Fonte: INMET (2021). 8
- FIGURA 2. Precipitação pluviométrica acumulada (mm) e temperaturas máximas e mínimas (°C) em decêndios, registradas durante o cultivo da soja 2019/2020, em Vicentina, MS. Fonte: INMET (2021). 8
- FIGURA 3. Ilustração dos sistemas de renovação de pastagem no tempo e no espaço, implantados em Batayporã, MS (textura média) e Vicentina, MS (textura arenosa), 2020.10

ATRIBUTOS QUÍMICOS, FÍSICOS E BIOLÓGICOS DO SOLO E PRODUTIVIDADE DA SOJA APÓS SISTEMAS DE RENOVAÇÃO DE PASTAGEM

Autora: Denise Prevedel Capristo
Orientador: Prof. Dr. Gessí Ceccon

RESUMO: Grande parte das pastagens do Cerrado brasileiro apresenta algum grau de degradação e, um dos principais desafios está na incorporação dessas áreas em um sistema produtivo, de modo a intensificar a produção agropecuária sem a necessidade de abertura de novas áreas. Desta forma, o objetivo deste trabalho foi de identificar um sistema de renovação de pastagem que proporcione melhorias nos atributos químicos, físicos e biológicos do solo e na produtividade da soja, em duas classes texturais. Os experimentos foram realizados nos municípios de Batayporã (solo de textura média) e Vicentina (solo de textura arenosa), ambos no Estado do Mato Grosso do Sul, de setembro de 2018 a março de 2020. O delineamento experimental utilizado nas duas localidades do experimento, foi em blocos ao acaso, com quatro repetições e oito sistemas de renovação de pastagem: 1) soja - milho safrinha - soja; 2) soja - consórcio milho safrinha *B. ruziziensis* - soja; 3) uma safra de soja; 4) 8 meses de *P. maximum* - uma safra de soja; 5) 8 meses de *P. maximum* consorciado com *C. ochroleuca* - uma safra de soja; 6) 12 meses de *P. maximum* - uma safra de soja; 7) 12 meses de *P. maximum* consorciado com *C. ochroleuca* - uma safra de soja e 8) pasto inalterado (testemunha) para avaliações de solo. Foram avaliados os atributos químicos, físicos e biológicos do solo e os componentes de produtividade da soja. Os dados foram submetidos a análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). O sistema 8 apresentou maior teor de alumínio tóxico e acidez potencial, em comparação aos demais sistemas. Os sistemas 3 e 7 apresentaram maior porosidade total e macroporosidade do solo, em comparação ao sistema 2, e os demais sistemas não diferiram dos sistemas 2, 3 e 7. O carbono da biomassa microbiana do solo foi menor no sistema 1, em comparação aos sistemas 6, 7 e 8. A atividade da β -glucosidase foi maior no sistema 6, em comparação aos sistemas 1 e 3, e os demais sistemas não diferiram dos sistemas 1, 3 e 6. A arilsulfatase apresentou maior atividade no sistema 6, em comparação ao sistema 3, e os demais sistemas não diferiram dos sistemas 3 e 6. A fosfatase ácida foi menor no sistema 3, em comparação ao sistema 6, e os demais sistemas não diferiram dos sistemas 3 e 6. A produtividade de grãos da soja foi maior nos sistemas 6 e 7, em comparação aos sistemas 1 e 3, e os sistemas 2, 4 e 5, não diferiram dos sistemas 1, 6 e 7. A utilização do *Panicum maximum* solteiro ou consorciado com *Crotalaria ochroleuca* proporciona melhorias na qualidade do solo e contribui para a maior produtividade da soja. A renovação da pastagem com a sucessão soja-milho safrinha reduz a qualidade do solo e a produtividade da soja.

Palavras-chave: *Glycine max*; integração lavoura-pecuária; qualidade do solo.

SOYBEAN YIELD AND CHEMICAL, PHYSICAL AND BIOLOGICAL PROPERTIES OF SOIL UNDER PASTURE RENEWAL SYSTEMS

Author: Denise Prevedel Capristo

Advisor: Prof. Dr. Gessi Ceccon

ABSTRACT: A large portion of the Brazilian Cerrado pastures is affected by some degree of degradation, where one of the main challenges is incorporating these areas into a crop production system with the aim of increasing agricultural productivity without having to clear new areas. In this vein, this study aimed to identify a pasture renewal system that provides improvements in soybean yield and chemical, physical and biological properties, considering two texture classifications. The experiments were carried out in the municipalities of Batayporã (medium-texture soil) and Vicentina (sandy soil), both in the State of Mato Grosso do Sul, from September 2018 to March 2020. In both study sites, the experiment adopted a randomized block design, with four replications and eight pasture renewal systems, namely: 1) soybean – off-season rainfed maize – soybean; 2) soybean – off-season rainfed maize intercropped *Brachiaria ruziziensis* – soybean; 3) a soybean crop; 4) *Panicum maximum* for 8 months then a soybean crop; 5) *P. maximum* intercropped with *Crotalaria ochroleuca* for 8 months then a soybean crop; 6) *P. maximum* for 12 months then a soybean crop; 7) *P. maximum* intercropped with *C. ochroleuca* for 12 months then a soybean crop; and 8) the original pasture (control). Soil chemical, physical and biological traits and soybean yield components were evaluated. Data were submitted to analysis of variance and means were compared by Tukey ($P \leq 0.05$). System 8 showed higher toxic aluminum content and potential acidity compared to other systems. Systems 3 and 7 showed higher total porosity and soil macroporosity compared to system 2, and the other systems did not differ from systems 2, 3, and 7. Soil microbial biomass carbon was lower in system 1 compared to systems 6, 7 and 8. The activity of β -glucosidase was higher in system 6 compared to systems 1 and 3, and the other systems did not differ from systems 1, 3 and 6. Arylsulfatase showed higher activity in system 6 compared to system 3, and the other systems did not differ from systems 3 and 6. Acid phosphatase was lower in system 3 compared to system 6, and the other systems did not differ from systems 3 and 6. Soybean grain yield was higher in systems 6 and 7, compared to systems 1 and 3, and systems 2, 4 and 5 did not differ from systems 1, 6 and 7. The use of *Panicum maximum* alone or intercropped with *Crotalaria ochroleuca* provides improvements in soil quality and contributes to higher soybean yield. Pasture renewal with the off-season rainfed maize - soybean succession reduces soil quality and impairs soybean yield.

Key-words: *Glycine max*; integrated crop-livestock systems; soil quality.

INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas houve o avanço da agropecuária no Cerrado brasileiro, bioma este que ocupa 198,5 milhões de hectares, o que corresponde a 23,3% do território nacional, demonstrando a sua importância para o agronegócio do país. Do total de sua área destinada a agropecuária, 54% estão ocupadas por pastagens, 27% por culturas agrícolas, 16% por áreas de mosaico e 3% por silvicultura (MAPBIOMAS, 2021), sendo a área com pastagens, a mais expressiva do bioma. A maioria dessas pastagens apresenta algum grau de degradação, sendo relevante a inclusão de culturas produtoras de grãos em sucessão, rotação ou em consorciação com forrageiras tropicais.

A soja (*Glycine max* [L.] Merrill) é a cultura produtora de grãos de maior exploração no país, com produção recorde de 136 milhões de toneladas em 2020 (CONAB, 2021) e, por possuir ampla adaptabilidade às condições edafoclimáticas do Cerrado, têm sido utilizada para a recuperação e renovação de pastagens. Sua introdução proporciona melhorias na fertilidade do solo e amortece os custos da renovação do pasto, por meio da venda dos seus grãos, diluindo os riscos e ampliando a rentabilidade da propriedade (SALTON et al., 2013; GONTIJO NETO et al., 2018; TNC & EMBRAPA, 2021).

O Cerrado representa a mais nova fronteira agrícola do país, com predomínio de solos arenosos que apresentam algumas particularidades, como baixa fertilidade natural, elevada acidez e baixos teores de matéria orgânica (FONTANA et al., 2020). Portanto, o emprego de sistemas de renovação de pastagem, aliado à adoção de práticas conservacionistas do solo, como o sistema plantio direto, rotação de culturas, integração lavoura-pecuária, entre outras, são primordiais para potencializar a execução de atividades agropecuárias nessa região e proporcionar a manutenção da qualidade do solo (CARVALHO et al., 2016; FORTE et al., 2018). Esses sistemas que combinam pecuária intensiva com agricultura, tem como principal objetivo, intensificar a produção agropecuária do Cerrado, sem a necessidade de abertura de novas áreas de exploração agrícola (VICTORIA et al., 2020).

A adoção de práticas conservacionistas promove maior interesse nas avaliações da qualidade do solo (MENDES et al., 2015), tornando-se relevante conhecer as limitações e potencialidades dos solos dessas áreas, para incorporá-los no sistema produtivo. Ao considerar a qualidade do solo, deve-se correlacionar os atributos químicos, físicos e biológicos, para tornar possível a detecção precoce de alterações na qualidade do solo, em função do sistema de manejo adotado (MAHARJAN et al., 2017, MENDES et al., 2019).

Portanto, a inserção dos atributos microbiológicos nas rotinas de análises de solo, complementa as avaliações químicas e físicas por evidenciar aspectos que passaram despercebidos,

facilitando a identificação de práticas de manejo que melhoram, conservam ou degradam o solo (MENDES et al., 2015; MENDES et al., 2019).

Os principais atributos utilizados para caracterizar a qualidade microbiológica do solo são o carbono da biomassa microbiana, atividade microbiana, quociente metabólico e atividade das enzimas β -glucosidase (ciclo do carbono), fosfatase ácida (ciclo do fósforo) e arilsulfatase (ciclo do enxofre) (LOURENTE et al., 2011; BALOTA et al., 2013).

A qualidade do solo influencia o potencial de uso, a produtividade e a sustentabilidade da agropecuária, sendo de grande importância a sua avaliação para o emprego do manejo adequado do solo, bem como para obtenção de informações seguras para a tomada de decisões, visando o uso apropriado desse recurso. Desta forma, o objetivo deste trabalho foi de avaliar os atributos químicos, físicos e biológicos do solo e a produtividade da soja, após sistemas de renovação de pastagem em duas classes texturais.

REVISÃO DE LITERATURA

Solos do Cerrado

O Cerrado brasileiro ocupa 198,5 milhões de hectares, o que corresponde a 23,3% do território nacional, abrangendo estados das regiões Norte, Nordeste, Centro-Oeste e Sudeste, com 44,2% de sua área destinada a agropecuária (MAPBIOMAS, 2021). As principais classes de solo encontradas neste bioma são os Latossolos, Neossolos Quartzarênicos e Argissolos, que ocupam, respectivamente, 45,7%, 15,2% e 15,1% da área do Cerrado (REATTO, et al., 1998). Esses solos possuem algumas particularidades, como baixa fertilidade natural, elevada acidez, altas concentrações de alumínio e baixos teores de matéria orgânica.

Os Neossolos Quartzarênicos são solos de textura arenosa, formados basicamente por quartzo. São pouco profundos em decorrência do baixo grau de intemperismo, com teores superiores a 50% de areia e inferiores a 15% de argila (REATTO et al., 1998; SANTOS et al., 2018). Essa classe de solo apresenta baixa aptidão agrícola, devido a sua textura muito arenosa, baixa fertilidade natural, acidez, baixa capacidade de retenção de água e alta suscetibilidade a erosão e a perdas de nutrientes por lixiviação (COELHO et al., 2002; SOUSA & LOBATO, 2021a). Portanto, são solos que necessitam de manejo adequado para prevenir sua degradação e possibilitar a execução de atividades agropecuárias (LUMBRERAS et al., 2015; DONAGEMMA et al., 2016).

Os Latossolos são profundos, porosos, bem drenados, com teores de silte inferiores a 20% e de argila entre 15% e 80%, podendo apresentar textura média a argilosa. Essa classe de solo também

apresenta algumas limitações ao cultivo agrícola, em decorrência da sua baixa fertilidade natural, tornando-se necessária a correção química (SOUSA & LOBATO, 2021b). Devido ao fato dos solos de textura média, serem constituídos por teores inferiores a 35% de argila e superiores a 15% de areia (SANTOS et al., 2018), os Latossolos com essa textura, apresentam comportamento semelhante aos Neossolos Quartzarênicos, com baixa retenção de água e alta suscetibilidade à erosão e, portanto, necessitam de manejo adequado (SOUSA & LOBATO, 2021a).

Atributos microbiológicos do solo

Os atributos microbiológicos do solo respondem rapidamente a alterações no uso e manejo do solo (ZORNOZA et al., 2015; MAHARJAN et al., 2017, MENDES et al., 2019). Além disso, solos biologicamente ativos apresentam estreita relação com os atributos químicos e físicos do solo, os quais, influenciam a produtividade das culturas e a sustentabilidade do sistema produtivo (MENDES et al., 2019).

Os principais atributos utilizados para caracterizar a qualidade microbiológica do solo são, o carbono da biomassa microbiana do solo, atividade microbiana do solo, o quociente metabólico e a atividade das enzimas β -glucosidase (ciclo do carbono), fosfatase ácida (ciclo do fósforo) e arilsulfatase (ciclo do enxofre) (LOURENTE et al., 2011; BALOTA et al., 2013; KIANI et al., 2017).

O carbono da biomassa microbiana do solo (C-BMS), representa a fração viva e mais ativa da matéria orgânica, constituída por fungos, bactérias e actinomicetos, que atuam em processos que vão desde a formação do solo até a decomposição de resíduos vegetais e ciclagem de nutrientes (ROSCOE et al., 2006). Por identificar precocemente alterações ocorridas no solo, o C-BMS tornou-se importante indicador de qualidade (MENDES et al., 2015; FIDELIS et al., 2016). A sua avaliação permite quantificar o carbono presente nos microrganismos do solo e possibilita estimar a massa microbiana viva total do solo.

A atividade microbiana do solo, também denominada de respiração basal do solo (C-CO₂), quantifica o gás carbônico (CO₂) liberado pelos microrganismos ativos no solo, e pode ser influenciada por diversos fatores, como umidade, temperatura e disponibilidade de nutrientes (ROSCOE et al., 2006).

Já o quociente metabólico ($q\text{CO}_2$), é determinado pela relação entre a C-CO₂ e C-BMS, e indica a quantidade de CO₂ liberado pela biomassa microbiana em função do tempo, por meio da taxa de respiração específica da biomassa microbiana (ALVES et al., 2011). Quando o solo é submetido a condições estressantes, ocorre o aumento do $q\text{CO}_2$ devido a biomassa microbiana

necessitar de maior quantidade de carbono para sua manutenção. Desta forma, o uso intensivo do solo em sistemas agrícolas, pode aumentar o quociente metabólico (GUIMARÃES et al., 2017).

Os sistemas integrados de produção, proporcionam maior diversidade de resíduos e de sistemas radiculares, favorecendo a manutenção do carbono da biomassa microbiana do solo (C-BMS) e a atividade microbiana do solo (C-CO₂) (FONTANA et al., 2020, LAROCCA et al., 2018, SOUSA et al., 2020). Isso ocorre porque os atributos microbiológicos estão relacionados à quantidade, qualidade e diversificação de resíduos vegetais depositados no solo em longo prazo (SOARES et al., 2019). Em casos de baixa entrada de resíduos orgânicos há a redução da biomassa microbiana do solo (BMS), devido à baixa disponibilidade de carbono para crescimento populacional dos microrganismos.

Atividade enzimática do solo

As enzimas presentes no solo catalisam reações químicas provenientes da decomposição da matéria orgânica e ciclagem de nutrientes (BALOTA et al., 2013). E, a potencialidade das enzimas como indicadores de grande sensibilidade a alterações ocorridas no solo, devido ao seu uso e manejo, tem sido verificada no Cerrado brasileiro (MENDES et al., 2003, BALOTA et al., 2004, MENDES et al., 2015). Dentre as enzimas, a β -glucosidase, a arilsulfatase e a fosfatase ácida, são as mais utilizadas como indicadores de qualidade do solo (MENDES et al., 2018).

A β -glucosidase é uma das mais importantes enzimas do solo, por atuar na hidrólise da celobiose, que é a última etapa de degradação da celulose. Essa reação promove a liberação de duas moléculas de glicose, que é uma importante fonte de energia para os microrganismos do solo. Por apresentar grande sensibilidade ao manejo e pH do solo e estar associada a atividade biológica e a capacidade do solo em estabilizar a matéria orgânica, a determinação da atividade dessa enzima tem sido utilizada como indicador de qualidade do solo (TABATABAI, 1994).

A adoção do Sistema Plantio Direto (SPD) pode contribuir para o aumento da atividade da β -glucosidase, em comparação ao sistema de preparo convencional do solo (PANDEY et al., 2014; LOPES et al., 2015). Essa contribuição ocorre devido a celulose ser o principal constituinte desses resíduos vegetais, o que favorece a hidrólise da celobiose e, conseqüentemente, a maior liberação de glicose para os microrganismos do solo. Portanto, o monitoramento da atividade dessa enzima é importante por ela estar associada ao ciclo do carbono no solo (MENDES et al., 2015).

A arilsulfatase participa do ciclo do enxofre (S) no solo, atuando na hidrólise de ésteres de sulfato, que promove a mineralização do S orgânico em S inorgânico. Partes consideráveis das arilsulfatases são secretadas por bactérias como resposta à limitação do S, sendo sua ocorrência,

correlacionada com a biomassa microbiana do solo e com a taxa de imobilização do S (TABATABAI, 1994; BALOTA et al., 2013).

A fosfatase ácida está associada ao ciclo do fósforo (P), por catalisar a hidrólise de ésteres e anidridos de ácido fosfórico, permitindo a mineralização do P orgânico. A atividade dessa enzima é favorecida pela baixa disponibilidade de P às plantas e aos microrganismos, e pode ser inibida por altas concentrações de fosfato inorgânico no solo (TRANNIN et al., 2007), sendo um indicador de fertilidade.

A avaliação da atividade enzimática é um importante indicador, que pode ser utilizado no monitoramento de alterações ocorridas no solo devido ao seu uso e manejo, e como ferramenta para o melhor planejamento e avaliação de práticas de manejo, visando à conservação dos solos do Cerrado.

Sucessão soja-milho safrinha

A sucessão soja-milho safrinha é o principal sistema de produção de grãos da região Centro-Oeste do Brasil. Nesse sistema, a soja domina como principal cultura de verão, semeada no início da época chuvosa e, o milho safrinha, como alternativa de segunda safra, semeado logo após a colheita da soja (ROSCOE & MIRANDA, 2019).

Apesar desse sistema ser rentável ao produtor, por meio do avanço tecnológico e da adaptação de novas cultivares, este apresenta alguns entraves, como os baixos índices de cobertura do solo, que intensificam os prejuízos causados pela ocorrência de déficit hídrico e altas temperaturas, que são fatores que prejudicam a produtividade da soja (BATTISTI et al., 2018; NÓIA JÚNIOR & SENTELHAS, 2019) e do milho (ANDREA et al., 2018; DUARTE, 2018).

A repetição de culturas em sucessão ao longo dos anos, assim como o monocultivo, provoca a degradação física, química e biológica do solo, além de acentuar a vulnerabilidade das culturas agrícola às limitações climáticas (RESENDE et al., 2016). Uma forma de minimizar esses impactos negativos, baseia-se no aumento da diversidade vegetal e na introdução de plantas de cobertura.

A utilização de plantas de cobertura proporciona diversos benefícios, como a adição de matéria orgânica no solo, redução de riscos climáticos, redução de processos erosivos, potencialização da ciclagem de nutrientes e supressão de plantas daninhas (PACHECO et al., 2011; FREITAS et al., 2012; BORGES et al., 2014). Além de aumentar a produtividade da soja em sucessão, principalmente em safras que são submetidas ao déficit hídrico (DEBIASI et al., 2013).

Consórcio de culturas

Na sucessão soja-milho safrinha, a soja é cultivada de setembro a março e o milho semeado imediatamente após colheita da soja. A semeadura simultânea de braquiária com milho safrinha é uma tecnologia para manter o solo coberto o máximo de tempo possível, principalmente entre a colheita do milho e a semeadura da soja, quando não há condições de umidade no solo e/ou temperatura para estabelecimento de uma espécie para cobertura do solo. Essa tecnologia de consórcio proporciona melhorias no solo e na produtividade das culturas (CECCON et al., 2013).

O consórcio de gramíneas e leguminosas é uma prática promissora, principalmente para o Cerrado brasileiro, por fornecer cobertura satisfatória do solo e viabilizar o cultivo da soja em sucessão (GARCIA & MACHADO, 2019; MACHADO & GARCIA, 2021). Essa diversificação de resíduos e de sistemas radiculares, pode favorecer a manutenção da qualidade do solo (LAROCA et al., 2018; FONTANA et al., 2020; SOUSA et al., 2020), em decorrência da quantidade e qualidade dos resíduos depositados.

Uma opção para o consórcio de gramíneas e leguminosas é o *Panicum maximum* cultivar BRS Zuri, que apresenta crescimento muito vigoroso com elevada produção de biomassa, podendo atingir até 22 t ha⁻¹ de matéria seca ao ano (EMBRAPA, 2013). A *Crotalaria ochroleuca* também é uma ótima opção para o consórcio, por ser uma leguminosa fixadora de nitrogênio atmosférico e por atuar no controle de alguns nematoides no solo. Essa leguminosa possui sistema radicular pivotante e profundo, que contribui para a ciclagem de nutrientes e para a tolerância ao estresse hídrico (WUTKE et al., 2014; DEBIASI et al., 2016).

O potencial de produção de biomassa da *C. ochroleuca*, pode ultrapassar 7.000 kg ha⁻¹. Mesmo apresentando baixa relação C/N e rápida decomposição dos seus resíduos, esse valor é suficiente para que ocorra boa cobertura do solo (GARCIA & STAUT, 2018). Além disso, aos 90 dias após a emergência da cultura, os teores de nitrogênio nos tecidos vegetais são superiores a 30 kg ha⁻¹ (PEREIRA et al., 2017; SILVA et al., 2017), resultando em uma contribuição significativa de nitrogênio para o solo.

Desta forma, a presença de resíduos vegetais sobre a superfície do solo com diferentes relações C/N, como é o caso do consórcio de gramíneas e leguminosas, proporciona aumento da cobertura e manutenção da umidade do solo, possibilitando microclima favorável para o crescimento e desenvolvimento da soja em sucessão.

Importância socioeconômica da soja

A soja (*Glycine max* [L.] Merr) é uma leguminosa pertencente à família Fabaceae, de grande importância econômica no Brasil e no mundo, que representa um dos principais propulsores do agronegócio brasileiro. O grão é uma importante fonte de proteína, que pode ser utilizado tanto na alimentação humana, animal ou como matéria-prima para a indústria. Portanto, o aumento da produção de soja é fundamental para suprir à crescente demanda mundial de alimentos (BATTISTI & SENTELHAS, 2017). E, o Brasil é um dos países com maior potencial de expansão de áreas agrícolas para atender essa crescente demanda (ALVES et al., 2017).

No cenário internacional, o Brasil ultrapassou os Estados Unidos da América (EUA) e se tornou o maior produtor mundial de soja. O cultivo nacional desta cultura atingiu área de 38,5 milhões de hectares na safra 2020-2021, o que representa crescimento de 4,3% se comparada à safra 2019/2020. A produção nacional foi de 135,9 milhões de toneladas, com produtividade média de 3.527 kg ha⁻¹. A maior produção de soja no Brasil encontra-se na região Centro-Oeste, sendo que na safra 2020-2021, foram produzidos 61,3 milhões de toneladas de grãos (CONAB, 2021).

Por se tratar da principal cultura produtora de grãos, com ampla adaptabilidade às condições edafoclimáticas e facilidade de comercialização, o cultivo da soja vem se expandindo em áreas de pastagens do Cerrado brasileiro. O principal objetivo da introdução da soja nessas áreas é proporcionar melhorias na fertilidade do solo, e amortecer os custos da renovação do pasto por meio da venda dos grãos, diluir os riscos e ampliar a rentabilidade da propriedade (SALTON et al., 2013; GONTIJO NETO et al., 2018; TNC & EMBRAPA, 2021).

MATERIAL E MÉTODOS

Caracterização do local e clima

Os experimentos foram realizados em dois municípios no Estado do Mato Grosso do Sul (MS), Batayporã (22°27'04" Sul, 53°18'13" Oeste, a 292 m de altitude) e Vicentina (22°24'59" Sul, 54°21'11" Oeste, a 421 m de altitude), no período de setembro de 2018 a março de 2020. O clima das regiões, segundo a classificação descrita por Köppen-Geiger, é do tipo Cwa (Mesotérmico úmido), com verões quentes e invernos secos. A precipitação acumulada durante o cultivo da soja 2019/2020, foi de 665 mm em Batayporã, MS (Figura 1) e de 534 mm em Vicentina, MS (Figura 2).

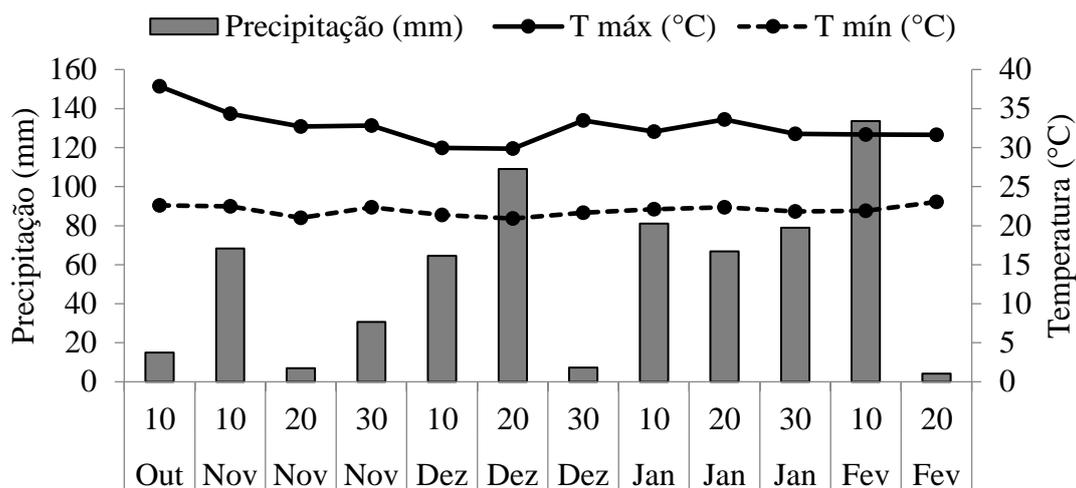


FIGURA 1. Precipitação pluviométrica acumulada (mm) e temperaturas máximas e mínimas (°C) em decêndios, registradas durante o cultivo da soja 2019/2020, em Batayporã, MS. Fonte: INMET (2021).

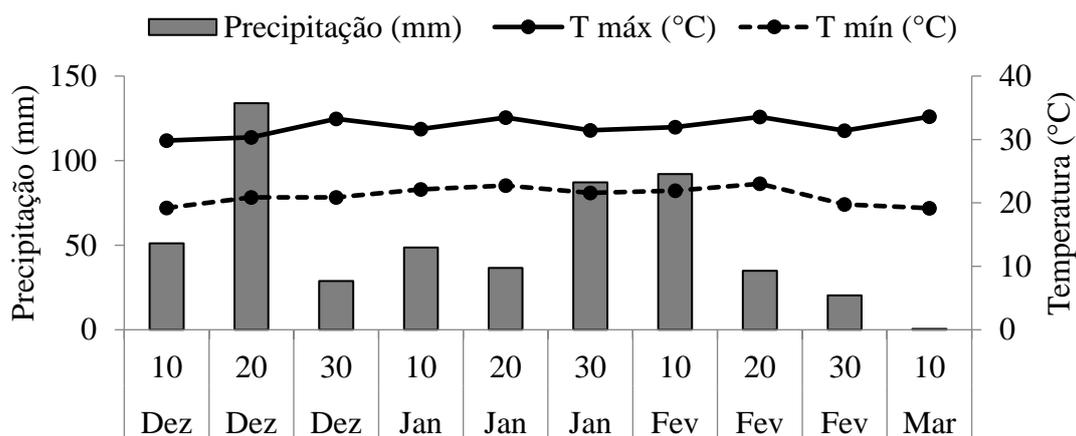


FIGURA 2. Precipitação pluviométrica acumulada (mm) e temperaturas máximas e mínimas (°C) em decêndios, registradas durante o cultivo da soja 2019/2020, em Vicentina, MS. Fonte: INMET (2021).

O solo do experimento em Batayporã, MS, foi identificado como Latossolo Vermelho-amarelo distrófico, de textura média e, em Vicentina, MS, como Neossolo Quartzarênico Órtico latossólico, de textura arenosa, conforme os critérios do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SANTOS et al., 2018). Em agosto e setembro de 2018, realizou-se a coleta de amostras de solo na profundidade de 0 - 20 cm, as quais foram levadas para o laboratório de solos da Embrapa

Agropecuária Oeste, Dourados-MS, e apresentaram as seguintes características químicas e granulométricas (Quadro 1).

QUADRO 1. Caracterização química e granulométrica do solo, na profundidade de 0 - 20 cm, realizada em agosto e setembro de 2018, antes da implantação dos experimentos, em Batayporã, MS (textura média) e Vicentina, MS (textura arenosa).

Local	pH CaCl ₂ (1:2,5)	Al ³⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	H+Al	SB	CTC	V%	
		----- cmolc dm ⁻³ -----								(%)
Batayporã	4,3	0,13	0,79	0,29	0,25	3,04	1,32	1,62	24,5	
Vicentina	5,1	0,09	0,97	0,44	0,11	1,82	1,52	1,52	43,4	
Local	P (Mehlich ⁻¹)	Cu	Fe	Mn	Zn	MO	Areia	Silte	Argila	
		----- mg dm ⁻³ -----						----- g kg ⁻¹ -----		
Batayporã	3,67	1,32	37,47	28,4	0,72	148	729	43	228	
Vicentina	20,23	0,80	104,32	43,8	2,04	76	866	26	108	

¹pH CaCl₂: potencial hidrogeniônico em cloreto de cálcio; Al³⁺: alumínio; Ca²⁺: cálcio; Mg²⁺: magnésio; K⁺: potássio; H+Al: acidez potencial; SB: soma de bases trocáveis; CTC: capacidade de troca catiônica efetiva; V%: saturação por bases; P: fósforo; Cu: cobre; Fe: ferro; Mn: manganês; Zn: zinco; MO: matéria orgânica.

Caracterização dos tratamentos e implantação do experimento

Em setembro de 2018, foi realizada nos dois locais, a aplicação e incorporação de calcário dolomítico, para elevação da saturação por bases a 60%, na camada 0 a 20 cm. Foi aplicado fósforo na dose de 42 kg ha⁻¹ de P₂O₅, utilizando o fertilizante superfosfato simples, incorporado na camada de 0 a 15 cm, em todos os sistemas de renovação de pastagem, visando uma produtividade da soja de 3 a 3,4 t ha⁻¹.

O delineamento experimental utilizado nas duas localidades foi em blocos ao acaso, com quatro repetições e sete sistemas de renovação de pastagem e uma testemunha com pasto inalterado:

- 1) Soja - milho safrinha - soja;
- 2) Soja - consórcio milho safrinha *B. ruziziensis* - soja;
- 3) Uma safra de soja em 2019-2020;
- 4) 8 meses de *P. maximum* - uma safra de soja;
- 5) 8 meses de *P. maximum* consorciado com crotalária - uma safra de soja;
- 6) 12 meses de *P. maximum* - uma safra de soja e
- 7) 12 meses de *P. maximum* consorciado com crotalária - uma safra de soja e
- 8) Pasto inalterado (testemunha).

Na safra 2018-2019, a semeadura das espécies foi realizada no dia 16/10/18 em Batayporã e no dia 17/10/18 em Vicentina. Na soja, a inoculação com *Bradyrhizobium* e *Azospirillum* foi realizada com jato dirigido no sulco de semeadura. Utilizou-se 600 mL de *Bradyrhizobium* e 300 mL

de *Azospirillum* (estirpes Ab-V5 e Ab-V6) por hectare. Na safra 2019, as espécies foram semeadas nos dois locais em 16/02/2019. O milho híbrido K9606 VIP3, teve população planejada de 55.000 plantas por hectare, e adubação de semeadura de 300 kg ha⁻¹ da fórmula NPK 08-20-20, sem adubação em cobertura. A inoculação com *Azospirillum* foi realizada nas sementes de milho no momento da semeadura. A soja cultivar BRS 1003 IPRO com 240.000 plantas por hectare, a *Urochloa ruziziensis* em consórcio com o milho com população de 100.000 plantas por hectare, o capim *Panicum maximum* cv. BRS Zuri solteiro e consorciado com a *Crotalaria ochroleuca* teve população de 100.000 plantas por hectare, e a *C. ochroleuca* com 300.000 plantas por hectare. Para a adubação de semeadura utilizou-se 300 kg ha⁻¹ da fórmula NPK 04-14-08 para soja, e 08-20-20 para milho, com aplicação mecânica simultânea de fertilizante e sementes na linha de semeadura.

Os sistemas de renovação 1 (soja - milho safrinha - soja) e 2 (soja - consórcio milho safrinha *B. ruziziensis* - soja), iniciaram em setembro de 2018 com a aplicação e incorporação do calcário com grade aradora, posteriormente, em outubro de 2018, o solo foi preparado para a semeadura da soja, com uma grade aradora e uma niveladora. Após a colheita da soja, em 2019, foi realizada a semeadura direta do milho safrinha no sistema 1 e do consórcio milho-braquiária no sistema 2. Em outubro de 2019 foi realizada a dessecação da *B. ruziziensis* com 2 L ha⁻¹ de glifosato, para semeadura direta da soja nesses dois sistemas. No sistema 3 (uma safra de soja), o calcário foi aplicado e incorporado em setembro de 2019, com duas gradagens aradora e uma niveladora e, em outubro de 2019, semeada a soja (Figura 3).

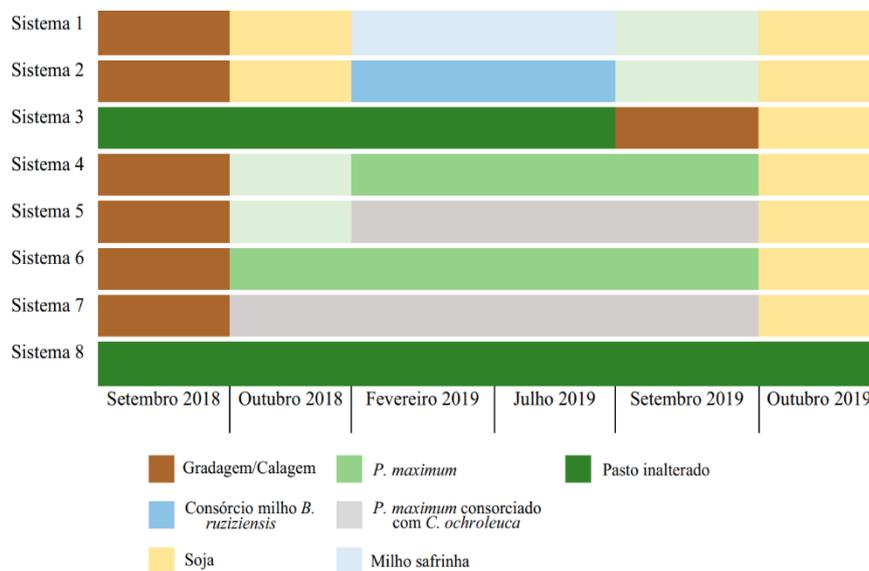


FIGURA 3. Ilustração dos sistemas de renovação de pastagem no tempo e no espaço, implantados e Batayporã, MS (textura média) e Vicentina, MS (textura arenosa), 2020.

Os sistemas 4 (8 meses de *P. maximum* - uma safra de soja), 5 (8 meses de *P. maximum* consorciado com crotalária - uma safra de soja), 6 (12 meses de *P. maximum* - uma safra de soja) e 7 (12 meses de *P. maximum* consorciado com crotalária - uma safra de soja), também iniciaram o manejo do solo em setembro de 2018, com a aplicação e incorporação do calcário com grade aradora. Em outubro de 2018 (sistemas 6 e 7) e fevereiro de 2019 (sistemas 4 e 5), foi realizada a semeadura do *P. maximum* solteiro e consorciado com crotalária, permanecendo com o *P. maximum* até a dessecação com 4 L ha⁻¹ de glifosato, para a semeadura direta da soja na safra 2019-2020. No sistema 8 (pasto inalterado), não foi realizado nenhum manejo do solo (Figura 3).

Avaliações

Atributos químicos

A análise química do solo foi realizada após a colheita da soja 2019-2020, onde, em cada sistema de renovação de pastagem, foram retiradas quatro amostras compostas de 0,5 kg de solo nas camadas 0 - 10 cm; 10 - 20 cm e 20 - 30 cm e analisadas no laboratório de solos da Embrapa Agropecuária Oeste, segundo a metodologia descrita por Teixeira et al. (2017). Foram determinados o potencial hidrogeniônico em cloreto de cálcio (pH CaCl₂), alumínio (Al³⁺), cálcio (Ca²⁺); magnésio (Mg²⁺), potássio (K⁺), acidez potencial (H+Al), fósforo (P), soma de bases trocáveis (SB), capacidade de troca catiônica (CTC), saturação por bases (V%), carbono orgânico total (C_{total}) e matéria orgânica (MO).

Atributos físicos

Em março de 2020, após a colheita da soja, foram coletadas amostras indeformadas de solo para análise física, retirando anéis volumétricos de 100 cm³ nas camadas de 0 - 10 cm; 10 - 20 cm e 20 - 30 cm. Para coleta dos anéis foram abertas quatro trincheiras de 1,0 m x 0,40 m em cada sistema de renovação de pastagem.

As amostras foram levadas para análise no laboratório de solos, tecidos vegetais e corretivos, da Embrapa Agropecuária Oeste. Foi determinada a densidade do solo (DS), macroporosidade (Ma), microporosidade (Mi) e porosidade total (PT). A porosidade total, macroporosidade e microporosidade foram determinadas utilizando o método da mesa de tensão e para a determinação da densidade do solo (DS) utilizou-se o método do anel volumétrico (TEIXEIRA et al., 2017).

Atributos Microbiológicos

Foram realizadas coletas de solo para avaliação dos atributos microbiológicos antes da semeadura da soja e durante o seu pleno florescimento (estádio R2), com auxílio de trado tipo “holandês” na profundidade de 0 - 10 cm. Foram coletadas subamostras em quatro pontos por parcela, alternando-se a coleta nas duas linhas centrais de semeadura. Em cada ponto foram retiradas cinco porções de solo equidistantes em 10 cm, sendo um furo no centro e 2 furos de cada lado até o centro da entrelinha, perpendiculares à linha de semeadura. As quatro subamostras foram homogeneizadas, formando uma única amostra composta por parcela. No laboratório, as amostras foram peneiradas em malha de 2 mm e armazenadas em câmara fria a $\pm 7^{\circ}\text{C}$ até as análises no laboratório de microbiologia do solo da Embrapa Agropecuária Oeste, iniciadas um dia após a amostragem.

A análise do carbono da biomassa microbiana do solo (C-BMS) foi realizada pelo método da fumigação-extração proposto por Vance et al. (1987) e Tate et al. (1988). Para avaliação foram adicionados 20 g de solo em seis vidros do tipo Snap Cap, por amostra de solo. Metade das amostras foram fumigadas (F) por 48 horas em um dessecador contendo um frasco com 20 mL de clorofórmio puro (CHCl_3), enquanto as amostras não fumigadas (NF) foram mantidas em temperatura ambiente. Após a fumigação, foi extraído o carbono das amostras fumigadas e não fumigadas, adicionando 50 mL de sulfato de potássio (K_2SO_4) a $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ nas amostras, que foram posteriormente submetidas à agitação horizontal (250 rpm) por 30 minutos. Em seguida, as amostras ficaram em repouso por 30 minutos e o sobrenadante foi transferido para um erlenmeyer com papel filtro Whatman n° 2.

Após a filtragem foi retirada uma alíquota de 2 mL de cada amostra e transferida para um tubo de ensaio, onde foram adicionados 3 mL de água deionizada, 2,5 mL da solução de trabalho e 2,5 mL de ácido sulfúrico concentrado. As amostras foram agitadas manualmente e deixadas em repouso por duas horas, em local isento de luminosidade. Posteriormente, o teor de carbono (C) foi determinado via espectrofotometria (495 nm), e o carbono da biomassa microbiana do solo (C-BMS) determinado utilizando a fórmula:

$$C - BMS = \frac{mgC \text{ de solo fumigado} - mgC \text{ de solo não fumigado}}{Kec}$$

O Kec (fator de correção que equivale a 0,33) representa a quantidade de carbono proveniente da biomassa microbiana, que é extraída com K_2SO_4 após a fumigação.

Para a determinação da respiração basal do solo ou atividade microbiana (C- CO_2), foram adicionados 50 g de solo em frascos de vidro do tipo Snap Cap, inseridos em potes plásticos de 500 mL hermeticamente fechados, contendo em seu interior, frascos com 10 mL de uma solução de

hidróxido de sódio a 1 M (NaOH) para capturar o dióxido de carbono (CO₂) emitido. Essas amostras foram mantidas em local isento de luminosidade, com temperatura em torno de 25 a 28 °C, incubados por sete dias. Após o período de incubação, foi adicionado 2 mL de cloreto de bário a 10% (BaCl₂) no frasco contendo NaOH, para a completa precipitação do CO₂. Posteriormente, foram adicionadas 2 gotas de fenolftaleína 1% e titulado com solução de ácido clorídrico (HCl) padronizada a 0,5 M. Foram utilizados como controle três recipientes de vidro, sem solo, contendo a mesma solução de NaOH 0,5 M. O cálculo do carbono emitido na forma de CO₂ foi determinado pela equação:

$$C-CO_2 = (mg \text{ de } C-CO_2 \text{ kg}^{-1} - \text{solo hora}^{-1}) = ((Vb - Va) \times M \times 6 \times 1000 / Ps) / T$$

Em que C-CO₂ = carbono oriundo da respiração basal do solo; Vb = volume de ácido clorídrico gasto na titulação da solução controle (mL); Va = volume gasto na titulação da amostra (mL); M = molaridade exata do HCL; Ps = massa de solo seco (g) e T= tempo de incubação da amostra (horas).

O quociente metabólico (qCO_2) foi determinado pela razão do fluxo de C-CO₂ do solo pelo conteúdo de C-BMS (ANDERSON & DOMSCH, 1993).

Atividade enzimática

Também foi realizada amostragem de solo após a colheita da soja, em março de 2020, com trado tipo “holandês”, na profundidade de 0-10 cm, seguindo as mesmas recomendações da coleta para avaliação dos atributos microbiológicos, porém, desta vez, as amostras foram secas ao ar, para determinação da atividade das enzimas β-glucosidase, arilsulfatase e fosfatase ácida, seguindo a metodologia descrita por Tabatabai (1994).

β-glucosidase

Em um erlenmeyer foram pesados 1 g de solo, adicionados 4 mL de solução tampão universal modificada (MUB pH 6,0) e 1 mL da solução de p-nitrofenol glicosídeo (PNG) em todos os erlenmeyer com exceção dos controles, posteriormente, as amostras foram agitadas e encubadas por 1 hora a 37°C. Após, foram adicionados 1 mL de cloreto de cálcio a 0,5 M (CaCl₂), 4 mL de solução extratora de Tris-hydroxymetyl-aminometano (THAM pH 12) e 1 mL de PNG nos controles, em seguida, as amostras foram agitadas e então filtrado o sobrenadante com papel filtro Whatman n° 2 e, o líquido filtrado foi para o espectrofotômetro a 420 nm para mensurar a intensidade da cor amarela.

Para cada amostra utilizou-se duas repetições analíticas e um controle. Para determinação da quantidade de p-nitrofenol liberada das amostras foi utilizada uma curva padrão preparada com concentrações conhecidas de p-nitrofenol (0, 25, 50, 100 e 150 μg de p-nitrofenol mL^{-1}). A atividade enzimática foi expressa em μg p-nitrofenol liberado por grama de solo seco por hora.

Arilsulfatase

Em um erlenmeyer foram pesados 1 g de solo, adicionados 4 mL de tampão acetato pH 5,8 e 1 mL da solução de p-nitrofenol sulfato (PNS) em todos os erlenmeyer com exceção dos controles, posteriormente, as amostras foram agitadas e encubadas por 1 hora a 37°C. Após, foram adicionados 1 mL de cloreto de cálcio a 0,5 M (CaCl_2), 4 mL de hidróxido de sódio a 0,5 M (NaOH) e 1 mL de PNS nos controles, em seguida, as amostras foram agitadas e então filtrado o sobrenadante com papel filtro Whatman n° 2 e, o líquido filtrado foi para o espectrofotômetro a 410 nm para mensurar a intensidade da cor amarela.

Para cada amostra utilizou-se duas repetições analíticas e um controle. Para determinação da quantidade de p-nitrofenol liberada das amostras, foi utilizada uma curva padrão preparada com concentrações conhecidas de p-nitrofenol (0, 25, 50, 100 e 150 μg de p-nitrofenol mL^{-1}). A atividade enzimática foi expressa em μg p-nitrofenol liberado por grama de solo seco por hora.

Fosfatase Ácida

Em um erlenmeyer foram pesados 1 g de solo, adicionados 4 mL de solução tampão universal modificada (MUB pH 6,5) e 1 mL da solução de p-nitrofenol fosfato (PNF) em todos os erlenmeyer com exceção dos controles, posteriormente, as amostras foram agitadas e encubadas por 1 hora a 37°C. Após, foram adicionados 1 mL de cloreto de cálcio a 0,5 M (CaCl_2), 4 mL de hidróxido de sódio a 0,5 M (NaOH) e 1 mL de PNF nos controles, em seguida, as amostras foram agitadas e então filtrado o sobrenadante com papel filtro Whatman n° 2 e, o líquido filtrado foi para o espectrofotômetro a 410 nm para mensurar a intensidade da cor amarela.

Para cada amostra utilizou-se duas repetições analíticas e um controle. Para determinação da quantidade de p-nitrofenol liberada das amostras foi utilizada uma curva padrão preparada com concentrações conhecidas de p-nitrofenol (0, 25, 50, 100 e 150 μg de p-nitrofenol mL^{-1}). A atividade enzimática foi expressa em μg p-nitrofenol liberado por grama de solo seco por hora.

Componentes de produtividade da soja

Na maturação fisiológica da soja foram coletadas cinco plantas por unidade experimental para determinação da altura de plantas (AP), número de vagens por planta (NVPP) e número de grãos por planta (NGPP). Posteriormente, foram colhidas as três linhas centrais de três metros de comprimento de cada unidade experimental e realizada a trilha mecânica. Após a secagem completa dos grãos determinou-se a produtividade de grãos (PROD) e a massa de cem grãos (MCG), com correção da umidade para 13%.

Análise estatística

Os dados foram submetidos ao teste de Shapiro-Wilk para a verificação da normalidade dos resíduos e ao teste de Bartlett para verificação da homogeneidade entre as variâncias. Atendidos esses pressupostos foi realizada a análise de variância individualmente para cada textura do solo e, quando observado efeito significativo dos tratamentos (sistemas de renovação de pastagem), as médias foram comparadas pelo teste Tukey ($p \leq 0,05$), utilizando o software Genes (CRUZ, 2016).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Atributos químicos

Em Batayporã, na profundidade de 0 - 10 cm, houve diferença entre os sistemas de renovação de pastagem para o potencial hidrogeniônico em cloreto de cálcio (pH CaCl_2), alumínio (Al^{3+}), acidez potencial (H^+Al), potássio (K^+), fósforo (P), capacidade de troca catiônica (CTC), saturação por bases (V%) e carbono orgânico total (Ctotal). Na profundidade de 10 - 20 cm, houve diferença entre os sistemas de renovação de pastagem para os teores de cálcio (Ca^{2+}), magnésio (Mg^{2+}) e carbono orgânico total (Ctotal). Na profundidade de 20 - 30 cm, houve diferença entre os sistemas de renovação de pastagem para os teores de magnésio (Mg^{2+}), carbono orgânico total (Ctotal) e matéria orgânica (MO) (Apêndice A).

Em relação aos atributos químicos avaliados em Vicentina, na profundidade de 0 - 10 cm, houve diferença entre os sistemas de renovação de pastagem para os teores de alumínio (Al^{3+}), fósforo (P), carbono orgânico total (Ctotal) e matéria orgânica (MO). Na profundidade de 10 - 20 cm, houve diferença entre os sistemas de renovação de pastagem para os teores de cálcio (Ca^{2+}), potássio (K^+), fósforo (P), soma de bases (SB), capacidade de troca catiônica (CTC), carbono orgânico total (Ctotal) e matéria orgânica (MO). Já na profundidade de 20 - 30 cm, não houve diferença entre os sistemas de renovação de pastagem (Apêndice B).

Dos atributos químicos avaliados em Batayporã, na profundidade 0 - 10 cm, o potencial hidrogeniônico em cloreto de cálcio (pH CaCl₂) e o teor de potássio (K), foram menores no sistema 8 (pasto inalterado), em comparação aos demais sistemas. Já o teor de alumínio tóxico (Al³⁺) e a acidez potencial (H + Al), foram maiores no sistema 8, em comparação aos demais sistemas (Quadro 2). Esses resultados são atribuídos a falta de correção do solo no sistema 8, uma vez que, grande parte dos solos brasileiros são naturalmente ácidos e de baixa fertilidade, e necessitam de correção e fornecimento adequado de nutrientes (SOUSA & LOBATO, 2004). A calagem é uma forma de corrigir esse problema, pois neutraliza a acidez do solo e o alumínio tóxico e fornece cálcio e magnésio (CAIRES et al., 2008; RESENDE et al., 2016).

Os teores de P foram maiores nos sistemas 6 (12 meses de capim e uma safra de soja) e 7 (12 meses *P. maximum* consorciado com crotalária e uma safra de soja), em comparação aos sistemas 1 (soja - milho safrinha - soja), 3 (uma safra de soja) e 8 (pasto inalterado). Os sistemas 2 (soja - consórcio milho safrinha *B. ruziziensis* - soja), 4 (8 meses de *P. maximum* e uma safra de soja) e 5 (8 meses de *P. maximum* consorciado com crotalária e uma safra de soja), não diferiram dos sistemas 3, 6 e 7 (Quadro 2). Por promoverem o aumento da MO no solo, os sistemas 6 e 7 podem ter contribuído para o incremento de formas disponíveis de P, pois os ácidos orgânicos, provenientes da decomposição da MO, favorecem o bloqueio de sítios de adsorção, por recobrirem os óxidos, hidróxidos e oxiidróxidos de ferro e alumínio (SOUSA & LOBATO, 2004; ANGHINONI, 2007), disponibilizando P no solo.

A capacidade de troca catiônica (CTC) foi maior no sistema 2 (soja - consórcio milho *B. ruziziensis* - soja), em comparação aos sistemas 1 (soja - milho safrinha - soja), 5 (8 meses de *P. maximum* consorciado com crotalária e uma safra de soja) e 8 (pasto inalterado) (Quadro 2). A calagem é uma forma de aumentar a CTC do solo, por reduzir a acidez, neutralizar o alumínio tóxico e fornecer cálcio e magnésio (CAIRES et al., 2008; RESENDE et al., 2016). Isso explica a menor CTC do sistema 8, por se tratar da testemunha, não foi realizada a correção do solo com o uso de calcário.

A saturação por bases (V%), foi menor no sistema 8 (pasto inalterado), em comparação aos demais sistemas (Quadro 2). Como não foi realizada calagem no sistema 8, ele apresentou menor saturação por bases, evidenciando a importância da correção do solo nessa região. Roquim (2010) considera que a maioria das culturas apresenta produtividade média quando o solo está com saturação por bases entre 50 e 80%. Desta forma, os valores de V% encontrados no sistema 8 (38,66%), estão abaixo do ideal, o que indica necessidade de correção do solo. Quando a saturação por bases está baixa, ocorre maior absorção de elementos tóxicos como o hidrogênio e o alumínio (TAIZ; ZEIGER, 2017).

QUADRO 2. Valores médios do pH CaCl₂, Al³⁺, H+Al, K⁺, P, CTC, V% e Ctotal na profundidade 0 - 10 cm, avaliados após a colheita da soja 2019-2020, em sistemas de renovação de pastagem, em Batayporã (textura média), MS (2020).

Sistemas*	pH CaCl ₂	Al ³⁺	H+Al	K ⁺
	1:2,5	cmolc dm ⁻³	cmolc dm ⁻³	cmolc dm ⁻³
1	5,84 a	0,00 b	2,00 b	0,40 a
2	5,73 a	0,00 b	2,02 b	0,39 a
3	5,68 a	0,00 b	2,03 b	0,38 a
4	5,55 a	0,00 b	1,97 b	0,51 a
5	5,68 a	0,00 b	1,98 b	0,43 a
6	5,85 a	0,00 b	1,95 b	0,39 a
7	5,75 a	0,00 b	1,85 b	0,54 a
8	4,85 b	0,15 a	3,56 a	0,18 b
Média	5,61	0,02	2,17	0,40
CV (%)	2,72	102,87	16,14	17,64
Sistemas*	P	CTC	V%	Ctotal
	mg dm ⁻³	cmolc dm ⁻³	%	%
1	7,62 c	6,10 bc	73,07 a	1,56 b
2	23,69 ab	6,76 a	70,25 a	2,22 a
3	18,73 b	6,43 ab	65,09 a	2,43 a
4	25,74 ab	6,16 abc	67,80 a	2,23 a
5	24,19 ab	6,10 bc	67,73 a	2,40 a
6	28,58 a	6,38 abc	69,39 a	2,31 a
7	29,53 a	6,34 abc	70,73 a	2,36 a
8	4,32 c	5,80 c	38,66 b	2,38 a
Média	20,30	6,26	65,34	2,21
CV (%)	17,25	4,18	8,98	9,25

Médias seguidas por letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey, $p \leq 0,05$. CV: Coeficiente de variação. *1) soja - milho safrinha - soja; 2) soja - consórcio milho safrinha *B. ruziziensis* - soja; 3) uma safra de soja 4) 8 meses de *P. maximum* e uma safra de soja; 5) 8 meses de *P. maximum* consorciado com crotalária e uma safra de soja; 6) 12 meses de *P. maximum* e uma safra de soja; 7) 12 meses de *P. maximum* consorciado com crotalária e uma safra de soja e 8) pasto inalterado. pH CaCl₂: potencial hidrogeniônico em cloreto de cálcio; Al³⁺: alumínio tóxico; H+Al: acidez potencial; K⁺: potássio; P: fósforo; CTC: capacidade de troca catiônica; V%: saturação por bases e Ctotal: carbono orgânico total.

O teor de carbono orgânico total (Ctotal), foi menor no sistema 1 (soja - milho safrinha - soja), em comparação aos demais sistemas (Quadro 2). A sucessão soja-milho safrinha potencializa as perdas de carbono orgânico, que é o principal constituinte da MO, reduzindo o potencial produtivo do solo, mesmo em sistema de plantio direto (BROCH & RANNO, 2012), por proporcionar menor aporte de resíduos vegetais sobre o solo. Além disso, Moreira et al. (2014) afirmam que a redução do preparo do solo e o acúmulo de resíduos vegetais na superfície, podem contribuir para a conservação do carbono e matéria orgânica do solo.

Dos atributos químicos avaliados em Batayporã, na profundidade 10 - 20 cm, o teor de cálcio (Ca²⁺) foi maior no sistema 1 (soja - milho safrinha - soja), em comparação ao 6 (12 meses de *P. maximum* consorciado e uma safra de soja). Os demais sistemas não diferiram dos sistemas 1 e 6

(Quadro 3). De acordo com a faixa de interpretação proposta por Sousa & Lobato (2004), os sistemas 1 e 2 apresentaram teores adequados de Ca e os demais sistemas teores abaixo do adequado. Por ser um cátion, o cálcio é adsorvido ao solo por meio de partículas negativas de argila e matéria orgânica que o atraem e o deixa disponível no solo (TEIXEIRA et al., 2017).

QUADRO 3. Valores médios do Ca^{2+} , Mg^{2+} e Ctotal na profundidade 10 - 20 cm, avaliados após a colheita da soja 2019-2020, em sistemas de renovação de pastagem, em Batayporã (textura média), MS (2020).

Sistemas*	Ca^{2+} cmolc dm^{-3}	Mg^{2+} cmolc dm^{-3}	Ctotal %
1	1,78 a	0,31 ab	0,91 ab
2	1,48 ab	0,31 ab	0,84 ab
3	1,16 ab	0,29 ab	0,83 ab
4	1,15 ab	0,29 ab	0,82 b
5	1,22 ab	0,31 ab	0,83 ab
6	0,92 b	0,24 b	0,80 b
7	1,11 ab	0,28 b	0,80 b
8	1,06 ab	0,44 a	1,02 a
Média	1,23	0,31	0,86
CV (%)	25,50	20,89	9,97

Médias seguidas por letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey, $p \leq 0,05$. CV: Coeficiente de variação. *1) soja - milho safrinha - soja; 2) soja - consórcio milho safrinha *B. ruziziensis* - soja; 3) uma safra de soja 4) 8 meses de *P. maximum* e uma safra de soja; 5) 8 meses de *P. maximum* consorciado com crotalária e uma safra de soja; 6) 12 meses de *P. maximum* e uma safra de soja; 7) 12 meses de *P. maximum* consorciado com crotalária e uma safra de soja e 8) pasto inalterado. Ca^{2+} : cálcio; Mg^{2+} : magnésio e Ctotal: carbono orgânico total.

O teor de magnésio (Mg^{2+}) foi maior no sistema 8 (pasto inalterado), em comparação aos sistemas 6 e 7. Os demais sistemas não diferiram dos sistemas 6, 7 e 8 (Quadro 3). Apesar da diferença nos teores de magnésio, todos os sistemas apresentaram teores do nutriente abaixo da faixa adequada proposta por Sousa & Lobato (2004). Sistemas de manejo com aporte contínuo de matéria orgânica, proporcionam a manutenção do magnésio no solo (FRANCHINI et al., 2016).

O carbono orgânico total (Ctotal) foi maior no sistema 8, em comparação aos sistemas 4, 6 e 7. Os demais sistemas não diferiram dos sistemas 4, 6, 7 e 8 (Quadro 3). O aporte contínuo de resíduos vegetais tanto da parte aérea como de raízes do pasto inalterado implantado a mais de 10 anos, pode ter incrementado os teores de Ctotal do solo. Sistemas de manejo que incorporam frequentemente resíduos vegetais no solo, durante o ano todo, tendem a apresentar maiores teores de carbono e matéria orgânica (SALTON et al., 2011; BROCH & RANNO, 2012).

Dos atributos químicos avaliados em Batayporã, na profundidade 20 - 30 cm, o teor de magnésio (Mg^{2+}) foi maior no sistema 8 (pasto inalterado), em comparação aos sistemas 1 (soja - milho safrinha - soja), 4 (8 meses de *P. maximum* e uma safra de soja) e 6 (12 meses de *P. maximum*

e uma safra de soja). Os demais sistemas não diferiram dos sistemas 1, 4, 6 e 8 (Quadro 4). Apesar dessa diferença, os teores de magnésio no solo estão abaixo da faixa adequada em todos os sistemas (SOUSA & LOBATO, 2004). O magnésio é um cátion adsorvido ao solo por meio de partículas negativas de argila e matéria orgânica (TEIXEIRA et al., 2017) portanto, sistemas que proporcionam o aporte contínuo de matéria orgânica ao solo, como é o caso do sistema 8, aumentam a sua disponibilidade.

QUADRO 4. Valores médios do Mg^{2+} , Ctotal e MO na profundidade 20 - 30 cm, avaliados após a colheita da soja 2019-2020, em sistemas de renovação de pastagem, em Batayporã (textura média), MS (2020).

Sistemas*	Mg^{2+} cmolc dm^{-3}	Ctotal %	MO g kg^{-1}
1	0,26 b	0,64 b	11,34 b
2	0,28 ab	0,62 b	11,04 b
3	0,31 ab	0,70 ab	12,03 ab
4	0,25 b	0,65 b	11,21 b
5	0,27 ab	0,64 b	10,93 b
6	0,23 b	0,63 b	10,93 b
7	0,29 ab	0,63 b	10,65 b
8	0,44 a	0,88 a	15,22 a
Média	0,29	0,67	11,67
CV (%)	25,16	14,22	13,74

Médias seguidas por letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey, $p \leq 0,05$. CV: Coeficiente de variação. *1) soja - milho safrinha - soja; 2) soja - consórcio milho safrinha *B. ruziziensis* - soja; 3) uma safra de soja 4) 8 meses de *P. maximum* e uma safra de soja; 5) 8 meses de *P. maximum* consorciado com crotalária e uma safra de soja; 6) 12 meses de *P. maximum* e uma safra de soja; 7) 12 meses de *P. maximum* consorciado com crotalária e uma safra de soja e 8) pasto inalterado. Mg^{2+} : magnésio; Ctotal: carbono orgânico total e MO: matéria orgânica.

Os teores de carbono orgânico total (Ctotal) e matéria orgânica (MO), foram maiores no sistema 8 (pasto inalterado), em comparação aos demais sistemas (Quadro 4). Esses resultados podem estar associados ao aporte contínuo de resíduos vegetais tanto da parte aérea como de raízes do pasto inalterado, que podem ter incrementado os teores de Ctotal e MO no solo. Sistemas de manejo que proporcionam contínuo aporte de resíduos vegetais ao solo, proporcionam o incremento dos teores de carbono e matéria orgânica (CHAN et al., 2001; SALTON et al., 2011).

Dos atributos químicos avaliados em Vicentina, na profundidade 0 - 10 cm, o teor alumínio tóxico (Al^{3+}) foi maior no sistema 8 (pasto inalterado), em comparação aos demais sistemas (Quadro 5). Por não ter sido realizada a correção do solo no sistema 8, o Al^{3+} permaneceu no solo. A calagem é uma forma de corrigir esse problema, pois neutraliza o alumínio tóxico (CAIRES et al., 2008; RESENDE et al., 2016).

O teor de P foi maior no sistema 7 (12 meses de *P. maximum* consorciado com crotalária e uma safra de soja), em comparação aos sistemas 1 (soja - milho safrinha - soja) e 3 (uma safra de soja). Os sistemas 2 (soja - consórcio milho safrinha *B. ruziziensis* - soja), 4 (8 meses de *P. maximum* e uma safra de soja) e 5 (8 meses de *P. maximum* consorciado com crotalária e uma safra de soja), 6 (12 meses de *P. maximum* e uma safra de soja) e 8 (pasto inalterado), não diferiram estatisticamente dos sistemas 1, 3 e 7 (Quadro 5). Entretanto, apesar da diferença, houve o predomínio de altos teores de P no solo em todos os sistemas (SOUSA & LOBATO, 2004).

O pequeno acúmulo de resíduos vegetais no sistema 1 e o recente revolvimento do solo no sistema 3, pode ter favorecido a exposição do P a sítios de adsorção, diminuindo a sua disponibilidade no solo. Os solos do Cerrado são altamente intemperizados, com quantidades elevadas de óxi-hidróxidos de Fe e Al na fração argila e, devido à grande afinidade do fósforo por esses minerais, esse nutriente está sujeito a sofrer processos de adsorção específica, o que diminui a sua disponibilidade (NOVAIS et al., 2007; PELUCO et al., 2015).

QUADRO 5. Valores médios do Al^{3+} , P, Ctotal e MO na profundidade 0 - 10 cm, avaliados após a colheita da soja 2019-2020, em sistemas de renovação de pastagem, em Vicentina (textura arenosa), MS (2020).

Sistemas*	Al^{3+} cmolc dm ⁻³	P mg dm ⁻³	Ctotal %	MO g kg ⁻¹
1	0,00 b	28,87 b	0,87 b	8,51 b
2	0,00 b	30,33 ab	1,36 a	13,54 a
3	0,00 b	19,75 c	1,61 a	16,05 a
4	0,00 b	33,86 ab	1,75 a	17,51 a
5	0,00 b	36,07 ab	1,71 a	17,08 a
6	0,00 b	36,06 ab	1,61 a	16,15 a
7	0,00 b	37,37 a	1,50 a	14,96 a
8	0,13 a	35,89 ab	1,74 a	17,40 a
Média	0,02	32,27	1,52	15,15
CV (%)	113,46	10,65	11,96	12,25

Médias seguidas por letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey, $p \leq 0,05$. CV: Coeficiente de variação. *1) soja - milho safrinha - soja; 2) soja - consórcio milho safrinha *B. ruziziensis* - soja; 3) uma safra de soja 4) 8 meses de *P. maximum* e uma safra de soja; 5) 8 meses de *P. maximum* consorciado com crotalária e uma safra de soja; 6) 12 meses de *P. maximum* e uma safra de soja; 7) 12 meses de *P. maximum* consorciado com crotalária e uma safra de soja e 8) pasto inalterado. Al^{3+} : alumínio tóxico; P: fósforo; Ctotal: carbono orgânico total; e MO: matéria orgânica.

Os teores de carbono orgânico total (Ctotal) e matéria orgânica (MO), foram menores no sistema 1 (soja - milho safrinha - soja), em comparação aos demais sistemas (Quadro 5). A sucessão soja-milho safrinha potencializa as perdas de carbono orgânico, que é o principal constituinte da MO, reduzindo o potencial produtivo do solo, mesmo em sistema de plantio direto (BROCH & RANNO, 2012).

Dos atributos químicos avaliados em Vicentina, na profundidade 10 - 20 cm, os teores de cálcio (Ca^{2+}) foram maiores nos sistemas 5 (8 meses de *P. maximum* consorciado com crotalária e uma safra de soja), 6 (12 meses de *P. maximum* e uma safra de soja) e 7 (12 meses de *P. maximum* consorciado com crotalária e uma safra de soja), em comparação aos demais sistemas (Quadro 6). Além disso, de acordo com a interpretação de Sousa & Lobato (2004), os teores de cálcio dos sistemas 5, 6 e 7 estão dentro da faixa adequada, em comparação aos demais sistemas, que apresentaram baixos teores do nutriente. Esses maiores teores de Ca^{2+} nos sistemas 5, 6 e 7 podem estar relacionados a maior diversidade e aporte de resíduos vegetais, que intensificam os teores de carbono e matéria orgânica do solo. Uma vez que, sistemas de manejo que proporcionam maior aporte de resíduos vegetais e, conseqüentemente, maiores teores de matéria orgânica, são fundamentais para a manutenção do cálcio no solo (FRANCHINI et al., 2016).

QUADRO 6. Valores médios do Ca^{2+} , K^+ , P, SB, CTC, Ctotal e MO na profundidade 10 - 20 cm, avaliados após a colheita da soja 2019-2020, em sistemas de renovação de pastagem, em Vicentina (textura arenosa), MS (2020).

Sistema	Ca^{2+} cmolc dm^{-3}	K^+ mg dm^{-3}	P mg dm^{-3}	SB cmolc dm^{-3}	CTC cmolc dm^{-3}	Ctotal %	MO g kg^{-1}
1	0,79 b	0,11 b	20,23 a	1,22 c	2,80 b	0,46 bcd	7,83 bcd
2	0,78 b	0,36 a	22,06 a	1,36 bc	3,15 ab	0,44 cd	7,61 cd
3	0,78 b	0,18 ab	19,99 a	1,29 bc	3,02 ab	0,51 abcd	8,81 abcd
4	0,79 b	0,21 ab	22,67 a	1,22 c	2,79 b	0,40 d	6,81 d
5	1,24 a	0,16 ab	22,37 a	1,71 abc	3,37 ab	0,55 abc	9,46 abc
6	1,21 a	0,19 ab	21,82 a	1,90 ab	3,70 a	0,61 a	10,44 a
7	1,25 a	0,22 ab	19,57 a	2,01 a	3,71 a	0,59 ab	10,23 ab
8	0,80 b	0,09 b	4,56 b	1,12 c	2,75 b	0,52 abcd	8,88 abcd
Média	0,95	0,19	19,16	1,48	3,16	0,51	8,76
CV (%)	17,07	50,68	16,29	17,87	11,63	12,03	11,91

Médias seguidas por letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey, $p \leq 0,05$. CV: Coeficiente de variação. *1) soja - milho safrinha - soja; 2) soja - consórcio milho safrinha *B. ruziziensis* - soja; 3) uma safra de soja 4) 8 meses de *P. maximum* e uma safra de soja; 5) 8 meses de *P. maximum* consorciado com crotalária e uma safra de soja; 6) 12 meses de *P. maximum* e uma safra de soja; 7) 12 meses de *P. maximum* consorciado com crotalária e uma safra de soja e 8) pasto inalterado. Ca^{2+} : cálcio; K^+ : potássio; P: fósforo; SB: soma de bases; CTC: capacidade de troca catiônica; Ctotal: carbono orgânico total e MO: matéria orgânica.

O teor de potássio (K), foi maior no sistema 2 (soja - consórcio milho safrinha *B. ruziziensis* - soja), em comparação aos sistemas 1 (soja - milho safrinha - soja) e 8 (pasto inalterado). Os demais sistemas não diferiram dos sistemas 1, 2 e 8 (Quadro 6). Segundo a interpretação de Sousa & Lobato (2004), os teores de K dos sistemas 1 e 8 estão dentro da faixa adequada e nos demais sistemas, houve o predomínio de teores altos. Por ser um íon carregado positivamente, o K é

adsorvido ao solo por meio de partículas negativas de argila e matéria orgânica que o atraem, deixando-o disponível para as plantas (TEIXEIRA et al., 2017).

Segundo a interpretação proposta por Sousa & Lobato (2004), o teor de P de todos os sistemas estão acima da faixa adequada, com exceção do sistema 8, que apresentou teor baixo do nutriente no solo (Quadro 6). Por não ter sido realizada a correção do solo, o sistema 8 (pasto inalterado) apresentou maior acidez e, conseqüentemente, menor teor de P, em comparação aos demais sistemas (Quadro 6). A acidez provoca efeitos prejudiciais na disponibilidade de P no solo, por aumentar a sua adsorção aos oxi-hidróxidos de Fe e Al (LUZ et al., 2002).

A soma de bases trocáveis (SB), foi maior no sistema 7 (12 meses de *P. maximum* consorciado com crotalária e uma safra de soja), em comparação aos sistemas 1, 2, 3, 4 e 8 (Quadro 6). A saturação por bases (V%) representa a proporção da CTC do solo que é ocupada pelas bases trocáveis (TEIXEIRA et al., 2017). As partículas negativas presentes em solos com maiores teores de argila e MO, proporcionam maior adsorção de cátions (TEIXEIRA et al., 2017), o que pode ter favorecido a maior saturação por bases, na textura média. Como não foi realizada calagem no sistema 8, ele apresentou menor saturação por bases, evidenciando a importância da correção do solo nessa região.

A capacidade de troca catiônica (CTC) foi maior nos sistemas 6 (12 meses de *P. maximum* e uma safra de soja) e 7 (12 meses de *P. maximum* consorciado com crotalária e uma safra de soja), em comparação aos sistemas 1 (soja - milho safrinha - soja), 4 (8 meses de *P. maximum* e uma safra de soja) e 8 (pasto inalterado). Os sistemas 2, 3 e 5, não diferiram dos sistemas 1, 4, 6, 7 e 8 (Quadro 6). A capacidade de troca catiônica (CTC) representa a quantidade total de cátions trocáveis (cálcio, magnésio, potássio, entres outros) que o solo pode adsorver (TEIXEIRA et al., 2017). A calagem é uma forma de aumentar a CTC do solo, por reduzir a acidez, neutralizar o alumínio tóxico e fornecer cálcio e magnésio (CAIRES et al., 2008; RESENDE et al., 2016). Ciota et al. (2003) afirmam que, o acúmulo de matéria orgânica proporcionado pelo sistema plantio direto, promove aumento expressivo da CTC do solo.

Já os teores de carbono orgânico total (Ctotal) e matéria orgânica (MO), foram maiores no sistema 6 (12 meses de *P. maximum* e uma safra de soja), em comparação aos sistemas 1 (soja - milho safrinha - soja), 2 (soja - consórcio milho safrinha *B. ruziziensis* - soja), e 4 (8 meses de *P. maximum* e uma safra de soja) (Quadro 6). A sucessão soja-milho safrinha potencializa as perdas de carbono orgânico, que é o principal constituinte da MO, reduzindo o potencial produtivo do solo, mesmo em sistema de plantio direto (BROCH & RANNO, 2012).

Atributos físicos

Em Batayporã, na profundidade de 0 - 10 cm, não houve diferença entre os sistemas de renovação de pastagem. Na profundidade de 10 - 20 cm, houve diferença entre os sistemas de renovação de pastagem para a densidade do solo (Ds), macroporosidade (Ma) e porosidade total (PT). Na profundidade de 20 - 30 cm, não houve diferença entre os sistemas de renovação de pastagem (Apêndice C).

Em Vicentina, na profundidade de 0 - 10 cm, não houve diferença entre os sistemas de renovação de pastagem. Na profundidade de 10 - 20 cm, houve diferença entre os sistemas de renovação de pastagem para a densidade do solo (Ds), macroporosidade (Ma) e porosidade total (PT). Na profundidade de 20 - 30 cm, houve diferença entre os sistemas de renovação de pastagem para a macroporosidade do solo (Ma) (Apêndice D).

Os valores ideais de densidade do solo, para o bom desenvolvimento das culturas em solo arenoso e de textura média, variam de 1,25 a 1,40 g cm⁻³ (KIEHL, 1979). A densidade do solo dos sistemas avaliados na profundidade 10 - 20 cm, variou de 1,52 a 1,64 g cm⁻³ em solo de textura média de Batayporã (Quadro 7) e 1,55 a 1,65 g cm⁻³ em solo arenoso de Vicentina (Quadro 8), e estão acima do considerado ideal. Porém, os valores não ultrapassaram o limite crítico que prejudica o desenvolvimento das plantas de 1,75 g cm⁻³ proposto por Reichert et al. (2003).

Dos atributos físicos avaliados em Batayporã, na profundidade 10 - 20 cm, os valores de densidade do solo (Ds) foram inferiores nos sistemas 3 (uma safra de soja) e 8 (pasto inalterado), em comparação ao sistema 5 (8 meses de *P. maximum* consorciado com crotalária e uma safra de soja). Os sistemas 1, 2, 4, 6 e 7, não diferiram dos sistemas 3 e 5 (Quadro 7). Esse fato deve-se ao recente revolvimento do solo e incorporação dos restos vegetais da pastagem inalterada para a semeadura da soja 2019/2020 no sistema 3, que favoreceu o aumento dos espaços porosos no solo. E, ao grande aporte de resíduos vegetais e a densa massa de raízes proporcionado pela pastagem inalterado do sistema 8. Uma das finalidades do revolvimento do solo é o aumento dos espaços porosos e aeração e, conseqüentemente, redução da densidade do solo (FALLEIRO et al., 2003).

A macroporosidade (Ma) e porosidade total (PT) foram maiores no sistema 8 (pasto inalterado), em comparação aos sistemas 4 (8 meses de *P. maximum* e uma safra de soja), 5 (8 meses de *P. maximum* consorciado com crotalária e uma safra de soja), 6 (12 meses de *P. maximum* e uma safra de soja) e 7 (12 meses de *P. maximum* consorciado com crotalária e uma safra de soja). Os sistemas 1, 2 e 3, não diferiram dos sistemas 4, 5, 6, 7 e 8 (Quadro 7). Esse fato deve-se à ausência de qualquer tipo de manejo do solo e em razão da presença permanente da pastagem que proporciona elevado aporte de raízes no sistema 8.

QUADRO 7. Valores médios da densidade do solo (Ds), macroporosidade e porosidade total (PT), na profundidade 10 - 20 cm, avaliados após a colheita da soja 2019-2020, cultivada em sistemas de renovação de pastagem, em Batayporã (textura média), MS (2020).

*Sistemas	Ds g cm ⁻³	Ma %	PT %
1	1,62 ab	9,41 ab	34,27 ab
2	1,61 ab	9,60 ab	34,95 ab
3	1,55 bc	10,94 ab	35,87 ab
4	1,62 ab	8,50 b	33,51 ab
5	1,64 a	7,96 b	31,45 b
6	1,63 ab	6,64 b	31,54 b
7	1,63 ab	8,04 b	32,37 b
8	1,52 c	13,97 a	37,33 a
Média	1,60	9,38	33,91
CV (%)	2,16	23,93	5,58

Médias seguidas por letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey, $p \leq 0,05$. CV: Coeficiente de variação. *1) soja - milho safrinha - soja; 2) soja - consórcio milho safrinha *B. ruziziensis* - soja; 3) uma safra de soja 4) 8 meses de *P. maximum* e uma safra de soja; 5) 8 meses de *P. maximum* consorciado com crotalária e uma safra de soja; 6) 12 meses de *P. maximum* e uma safra de soja; 7) 12 meses de *P. maximum* consorciado com crotalária e uma safra de soja e 8) pasto inalterado.

Dos atributos físicos avaliados em Vicentina, na profundidade 10 - 20 cm, a densidade do solo (Ds), foi maior no sistema 2 (soja - consórcio milho safrinha *B. ruziziensis* - soja), em comparação aos sistemas 3 (uma safra de soja), 5 (8 meses de *P. maximum* consorciado com crotalária e uma safra de soja), 7 (12 meses de *P. maximum* consorciado com crotalária e uma safra de soja) e 8 (pasto inalterado). Os sistemas 1, 4 e 6, não diferiram dos sistemas 2, 3, 5, 7 e 8 (Quadro 8). Em sistemas de manejo de longa duração, sem revolvimento do solo, como o sistema de plantio direto, tem sido detectado o aumento da Ds (BERTOL et al., 2001), devido principalmente ao tráfego de máquinas agrícolas (FONTANA et al., 2016; RIBEIRO et al., 2016).

Já a macroporosidade (Ma), foi maior no sistema 7 (12 meses de *P. maximum* consorciado com crotalária e uma safra de soja), em comparação ao sistema 2 (soja - consórcio milho safrinha *B. ruziziensis* - soja). Os sistemas 1, 3, 4, 5, 6 e 8, não diferiram dos sistemas 2 e 7 (Quadro 8). O maior aporte e diversidade de resíduos vegetais proporcionado pelo *P. maximum* consorciado com crotalária, aliado a elevada produção de raízes desse sistema, pode ter favorecido o aumento da macroporosidade do solo. O sistema radicular das gramíneas forrageiras pode alterar a estrutura do solo, pois atuam na estabilização de agregados e formação de macroporos, que regulam os processos de movimentação de ar e água (SALTON et al., 2014; RABOT et al., 2018), proporcionando ambiente favorável para as culturas agrícolas.

QUADRO 8. Valores médios da densidade do solo (Ds), macroporosidade e porosidade total (PT), na profundidade 10 - 20 cm e macroporosidade (Ma), na profundidade 20 - 30 cm, avaliados após a colheita da soja 2019-2020, cultivada em sistemas de renovação de pastagem, em Vicentina (textura arenosa), MS (2020).

*Sistemas	Ds	Ma	PT	Ma
	g cm ⁻³	%	%	%
	-----10 - 20 cm-----			20 - 30 cm
1	1,61 ab	18,93 ab	36,61 ab	18,50 ab
2	1,65 a	16,73 b	35,22 b	18,09 ab
3	1,55 b	19,85 ab	38,86 a	17,24 ab
4	1,58 ab	21,49 ab	38,63 ab	16,73 ab
5	1,55 b	19,75 ab	38,50 ab	16,52 b
6	1,61 ab	17,31 ab	36,23 ab	19,94 a
7	1,56 b	21,53 a	39,23 a	16,02 b
8	1,56 b	20,42 ab	28,04 ab	17,60 ab
Média	1,58	19,50	37,67	19,60
CV (%)	1,94	10,34	3,95	15,06

Médias seguidas por letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey, $p \leq 0,05$. CV: Coeficiente de variação. *1) soja - milho safrinha - soja; 2) soja - consórcio milho safrinha *B. ruziziensis* - soja; 3) uma safra de soja 4) 8 meses de *P. maximum* e uma safra de soja; 5) 8 meses de *P. maximum* consorciado com crotalária e uma safra de soja; 6) 12 meses de *P. maximum* e uma safra de soja; 7) 12 meses de *P. maximum* consorciado com crotalária e uma safra de soja e 8) pasto inalterado.

A porosidade total (PT), foi maior no sistema 3 (uma safra de soja) e 7 (12 meses de *P. maximum* consorciado com crotalária e uma safra de soja), em comparação ao sistema 2 (soja - consórcio milho safrinha *B. ruziziensis* - soja). Os sistemas 1, 4, 5, 6 e 8, não diferiram dos sistemas 2, 3 e 7 (Quadro 8). Esse fato deve-se a presença do *P. maximum* consorciado com crotalária com elevada produção de raízes e ao recente revolvimento do solo no sistema 3, que favorecem o aumento dos espaços porosos do solo. A porosidade total representa os espaços ocupados por água e ar e tem papel importante na aeração, infiltração e retenção de água no solo, além de auxiliar na penetração de raízes (BALOTA, 2017) e, o uso intensivo do solo pode acarretar na diminuição dos espaços porosos do solo.

Dos atributos físicos avaliados em Vicentina, na profundidade 20 - 30 cm, a macroporosidade (Ma), foi maior no sistema 6 (12 meses de *P. maximum* e uma safra de soja), em comparação aos sistemas 5 (8 meses de *P. maximum* consorciado com crotalária e uma safra de soja) e 7 (12 meses de *P. maximum* consorciado com crotalária e uma safra de soja). Os sistemas 1, 2, 3, 4 e 8, não diferiram dos sistemas 5, 6 e 7 (Quadro 8). Azizoltani et al. (2019) afirmam que, o uso intensivo do solo pode diminuir a porcentagem de macroporos, o que pode ter acontecido nos sistemas 5 e 7.

Atividade enzimática

Em relação a atividade enzimática, avaliada em Batayporã, houve diferença entre os sistemas de renovação de pastagem para a atividade das enzimas β -glucosidase e fosfatase ácida (Apêndice E). Já no experimento de Vicentina, houve diferença entre os sistemas de renovação de pastagem para a atividade das enzimas β -glucosidase, arilsulfatase e fosfatase ácida (Apêndice F).

Das enzimas avaliadas em Batayporã, a atividade da β -glucosidase foi maior no sistema 4 (8 meses de *P. maximum* e uma safra de soja), em comparação aos sistemas 1 (soja - milho safrinha - soja) e 8 (pasto inalterado). Os demais sistemas, não diferiram dos sistemas 1, 4 e 8 (Quadro 9). Esse incremento da atividade da enzima no sistema 4, pode ser atribuído ao maior aporte de resíduos vegetais sobre a superfície do solo e pela ausência de revolvimento.

Outros trabalhos obtiveram resultados similares na comparação de sistemas de manejo do solo em relação a atividade dessa enzima. Os autores associaram o aumento da atividade da enzima à maior capacidade dos sistemas conservacionistas, em aumentar o conteúdo de carbono do solo, que é a principal fonte de energia para os microrganismos (ACOSTA-MARTÍNEZ et al., 2007; MELERO et al., 2008; LISBOA et al 2012; PANDEY et al., 2014). Uma vez que, essa enzima, reflete a atividade biológica e a capacidade do solo em estabilizar a matéria orgânica, e sua atividade pode ser influenciada pelo manejo e pH do solo (TABATABAI, 1994).

QUADRO 9. Valores médios da atividade das enzimas β -glucosidase e fosfatase ácida no solo, avaliadas após a colheita da soja 2019-2020, cultivada em sistemas de renovação de pastagem, em Batayporã, MS (2020).

*Sistemas	β -glucosidase (mg p-nitrofenol kg ⁻¹ de solo h ⁻¹)	Fosfatase ácida
1	62,04 c	371,53 ab
2	72,00 abc	444,92 ab
3	78,57 ab	345,64 b
4	81,92 a	373,20 ab
5	79,26 ab	393,38 ab
6	75,18 abc	514,37 a
7	68,39 abc	449,83 ab
8	67,42 bc	473,57 ab
Média	73,10	420,80
CV (%)	7,80	13,31

Médias seguidas por letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey, $p \leq 0,05$. CV: Coeficiente de variação. *1) soja - milho safrinha - soja; 2) soja - consórcio milho safrinha *B. ruziziensis* - soja; 3) uma safra de soja 4) 8 meses de *P. maximum* e uma safra de soja; 5) 8 meses de *P. maximum* consorciado com crotalária e uma safra de soja; 6) 12 meses de *P. maximum* e uma safra de soja; 7) 12 meses de *P. maximum* consorciado com crotalária e uma safra de soja e 8) pasto inalterado.

A atividade da enzima fosfatase ácida foi menor no sistema 3 (uma safra de soja), em comparação ao sistema 6 (12 meses de *P. maximum* - uma safra de soja). Os demais sistemas não diferiram dos sistemas 3 e 6 (Quadro 9). Deng & Tabatabai (1997) e Roldán et al. (2007), afirmam que o preparo convencional do solo, acarreta na menor atividade da fosfatase ácida em relação ao sistema de plantio direto. Portanto, a redução da atividade dessa enzima no sistema 3, pode ser atribuída ao recente revolvimento do solo para a semeadura da soja 2019-2020.

Considerando as tabelas de interpretação de indicadores microbiológicos para amostras de solo coletadas no Cerrado, após a colheita das culturas e secas ao ar, proposta por Mendes et al. (2019), a atividade da β -glucosidase foi baixa no sistema 1 (≤ 66 mg p-nitrofenol kg^{-1} de solo h^{-1}) e, moderada (67-115 mg p-nitrofenol kg^{-1} de solo h^{-1}) nos demais sistemas. Já a fosfatase ácida, apresentou atividade moderada (264-494 mg p-nitrofenol kg^{-1} de solo h^{-1}), em todos os sistemas avaliados (Quadro 9).

Das enzimas avaliadas em Vicentina, a atividade da β -glucosidase foi maior no sistema 6 (12 meses de *P. maximum* e uma safra de soja), em comparação aos sistemas 1 (soja - milho safrinha - soja) e 3 (uma safra de soja). Os demais sistemas não diferiram dos sistemas 1, 3 e 6 (Quadro 10). Por atuar na etapa final da degradação da celulose, os principais fatores que afetam a atividade da β -glucosidase, estão relacionados à quantidade e qualidade dos resíduos vegetais depositados no solo (MENDES et al., 2018). Desta forma, a atividade dessa enzima tende a ser reduzida em sistemas com menor aporte de resíduos vegetais, como é o caso dos sistemas 1 e 3.

A atividade da arilsulfatase foi maior no sistema 6 (12 meses de *P. maximum* e uma safra de soja), em comparação ao sistema 3 (uma safra de soja). Os demais sistemas, não diferiram dos sistemas 3 e 6 (Quadro 10). Essa redução da atividade enzimática no sistema 3, pode estar relacionada ao recente revolvimento do solo e ao baixo aporte de resíduos vegetais. Uma vez que, a atividade da arilsulfatase correlaciona-se aos teores de matéria orgânica do solo, que trata-se da principal reserva de ésteres de sulfato, que atuam como substratos para a atividade da enzima (NOGUEIRA & MELO, 2003).

Já a atividade da enzima fosfatase ácida foi maior no sistema 1 (soja - milho safrinha - soja), em comparação ao sistema 3 (uma safra de soja). Os demais sistemas, não diferiram dos sistemas 1 e 3 (Quadro 10). Essa menor atividade da enzima no sistema 3, pode estar relacionada ao preparo convencional do solo e ao baixo aporte de resíduos vegetais.

QUADRO 10. Valores médios da atividade das enzimas β -glucosidase, arilsulfatase e fosfatase ácida no solo, avaliadas após a colheita da soja 2019-2020, cultivada em sistemas de renovação de pastagem, em Vicentina, MS (2020).

*Sistemas	β -glucosidase	Arilsulfatase	Fosfatase ácida
(mg p-nitrofenol kg ⁻¹ de solo h ⁻¹)			
1	26,07 b	40,64 ab	202,95 a
2	28,57 ab	39,55 ab	195,81 ab
3	25,12 b	30,57 b	115,63 b
4	28,60 ab	37,61 ab	157,40 ab
5	35,14 ab	42,57 ab	193,59 ab
6	36,60 a	60,71 a	190,68 ab
7	28,85 ab	38,69 ab	182,27 ab
8	33,57 ab	50,10 ab	183,71 ab
Média	30,31	42,55	177,75
CV (%)	14,33	25,26	19,61

Médias seguidas por letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey, $p \leq 0,05$. CV: Coeficiente de variação. *1) soja - milho safrinha - soja; 2) soja - consórcio milho safrinha *B. ruziziensis* - soja; 3) uma safra de soja 4) 8 meses de *P. maximum* e uma safra de soja; 5) 8 meses de *P. maximum* consorciado com crotalária e uma safra de soja; 6) 12 meses de *P. maximum* e uma safra de soja; 7) 12 meses de *P. maximum* consorciado com crotalária e uma safra de soja e 8) pasto inalterado.

De acordo com a interpretação de indicadores microbiológicos proposta por Mendes et al. (2019), a atividade da β -glucosidase (≤ 66 mg p-nitrofenol kg⁻¹ de solo h⁻¹) e da fosfatase ácida (≤ 263 mg p-nitrofenol kg⁻¹ de solo h⁻¹), foi baixa em todos os sistemas implantados em Vicentina. Já a atividade da arilsulfatase, foi baixa (≤ 30 mg p-nitrofenol kg⁻¹ de solo h⁻¹) no sistema 3 (uma safra de soja) e, moderada (31-70 mg p-nitrofenol kg⁻¹ de solo h⁻¹) nos demais sistemas (Quadro 10).

Atributos microbiológicos

Em relação aos atributos microbiológicos avaliados na semeadura da soja 2019-2020, em Batayporã, houve diferença entre os sistemas de renovação de pastagem para a atividade microbiana do solo (C-CO₂). Já na avaliação dos atributos microbiológicos durante o florescimento da soja 2019-2020, houve diferença entre os sistemas de renovação de pastagem para o carbono da biomassa microbiana do solo (C-BMS) e quociente microbiano (*qMIC*) (Apêndice G).

Em relação aos atributos microbiológicos avaliados na semeadura e durante o florescimento da soja 2019-2020, em Vicentina, houve diferença entre os sistemas de renovação de pastagem para o carbono da biomassa microbiana do solo (C-BMS), atividade microbiana do solo (C-CO₂), quociente metabólico (*qC-CO₂*) e quociente microbiano (*qMIC*) (Apêndice H).

A atividade microbiana do solo (C-CO₂), avaliada em Batayporã, na semeadura da soja, foi maior no sistema 7 (12 meses de *P. maximum* consorciado com crotalária e uma safra de soja), em comparação ao sistema 4 (8 meses de *P. maximum* e uma safra de soja). Os demais sistemas, não

diferiram dos sistemas 4 e 7 (Quadro 11). A *C. ochroleuca* é uma planta com potencial de aportar grandes quantidades de matéria orgânica no solo (GARCIA & STAUT, 2018) e, quando consorciada com *P. maximum*, proporciona maior aporte e diversidade de resíduos vegetais e, estimula a atividade dos microrganismos no solo.

QUADRO 11. Valores médios da atividade microbiana do solo (C-CO₂), avaliada antes da semeadura da soja e do carbono da biomassa microbiana do solo (C-BMS) e quociente microbiano (qMIC), avaliados no florescimento da soja na safra 2019-2020, em sistemas de renovação de pastagem, em Batayporã (textura média), MS (2020).

		Semeadura	
*Sistemas		C-CO ₂ µg C-CO ₂ g ⁻¹ solo dia ⁻¹	
1		10,63 ab	
2		10,62 ab	
3		13,94 ab	
4		8,70 b	
5		12,86 ab	
6		13,10 ab	
7		15,97 a	
8		14,22 ab	
Média		12,51	
CV (%)		20,69	
		Florescimento	
*Sistemas		C-BMS µg C g ⁻¹ solo seco	qMIC µg C-CO ₂ µg ⁻¹ C-BMS h ⁻¹
1		175,58 b	1,26 b
2		195,83 ab	1,62 ab
3		227,62 ab	1,96 a
4		195,26 ab	1,62 ab
5		197,93 ab	1,57 ab
6		249,85 a	2,12 a
7		242,04 a	1,90 ab
8		257,07 a	1,87 ab
Média		217,65	1,74
CV (%)		12,41	16,47

Médias seguidas por letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey, $p \leq 0,05$. CV: Coeficiente de variação. *1) soja - milho safrinha - soja; 2) soja - consórcio milho safrinha *B. ruziziensis* - soja; 3) uma safra de soja 4) 8 meses de *P. maximum* e uma safra de soja; 5) 8 meses de *P. maximum* consorciado com crotalária e uma safra de soja; 6) 12 meses de *P. maximum* e uma safra de soja; 7) 12 meses de *P. maximum* consorciado com crotalária e uma safra de soja e 8) pasto inalterado.

A atividade microbiana do solo (C-CO₂) é frequentemente utilizada como um indicador de qualidade do solo (BAKHSHANDEH et al., 2019). A alta taxa respiratória do solo, ocorre devido a maior produção de dióxido de carbono (CO₂), proveniente da respiração dos microrganismos e, é

um indicativo de maior atividade microbiológica (LEWANDOWSKI et al., 2019). Portanto, a alta taxa respiratória dos microrganismos do solo, pode ser interpretada como desejável, quando se considera que a decomposição dos resíduos vegetais irá disponibilizar nutrientes para as plantas (ROSCOE et al., 2006).

Já o carbono da biomassa microbiana do solo (C-BMS), avaliada em Batayporã, no florescimento da soja, foi maior nos sistemas 6 (12 meses de *P. maximum* e uma safra de soja), 7 (12 meses de *P. maximum* consorciado com crotalária e uma safra de soja) e 8 (pasto inalterado), em comparação ao sistema 1 (soja - milho safrinha - soja). Os demais sistemas não diferiram dos sistemas 1, 6, 7 e 8 (Quadro 11).

De acordo com a interpretação de indicadores microbiológicos para Latossolo argilosos no Cerrado em Sistema Plantio Direto, proposto por Mendes et al. (2019), os valores do C-BMS obtidos neste trabalho foram baixos ($< 245 \text{ mg kg}^{-1}$) nos sistemas 1, 2, 3, 4 e 5 e, moderados ($246\text{-}415 \text{ mg kg}^{-1}$) nos sistemas 6, 7 e 8 (Quadro 11).

O quociente microbiano (q_{MIC}), avaliado no florescimento da soja, apresentou menor média no sistema 1 (soja - milho safrinha - soja), em comparação aos sistemas 3 (uma safra de soja) e 6 (12 meses de *P. maximum* e uma safra de soja). Os demais sistemas não diferiram dos sistemas 1, 3 e 6 (Quadro 11). Esse baixo q_{MIC} da sucessão soja-milho safrinha, provavelmente está relacionado ao baixo aporte de resíduos vegetais do sistema.

O quociente microbiano (q_{MIC}) expressa o quanto de carbono orgânico está imobilizado na biomassa microbiana e é utilizado como indicativo de qualidade da matéria orgânica do solo (MOS) (CARDOSO et al., 2009; SILVA et al., 2010). Altos índices de q_{MIC} estão relacionados a solos de melhor qualidade, pois, é um indicativo de que a MOS está ativa e sujeita a ser decomposta pelos microrganismos do solo. Já os baixos índices indicam menor eficiência dos microrganismos na imobilização do carbono orgânico do solo (CARNEIRO et al., 2009; ARAÚJO NETO et al., 2014; BALOTA, 2017).

O carbono da biomassa microbiana do solo (C-BMS), avaliada em Vicentina, na semeadura da soja, foi maior no sistema 8 (pasto inalterado), em comparação aos sistemas 1 (soja - milho safrinha - soja), 2 (soja - consórcio milho safrinha *B. ruziziensis* - soja) e 4 (8 meses de *P. maximum* e uma safra de soja). Os demais sistemas, não diferiram dos sistemas 4 e 8. Já a atividade microbiana do solo (C-CO₂) foi maior no sistema 8, em comparação aos sistemas 1, 2, 4, 5 e 7. Os sistemas 3 e 6, não diferiram dos sistemas 1, 2, 4, 5, 7 e 8 (Quadro 12).

Áreas de pastagens apresentam alto teor de matéria orgânica e densa massa radicular, que estimula a atividade microbiana do solo e promove a mineralização de nutrientes (ALVARENGA et al., 1999). Com base nesse aspecto, já se esperava alta atividade biológica no sistema 8. Esses valores

de C-CO₂ e C-BMS do sistema 8, podem estar associados a qualidade e quantidade dos restos vegetais e da massa radicular abundante e volumosa, que o próprio sistema proporciona, principalmente por estar instalado na área a mais de dez anos.

QUADRO 12. Valores médios do carbono da biomassa microbiana do solo (C-BMS), atividade microbiana do solo (C-CO₂), quociente metabólico (qC-CO₂) e quociente microbiano (qMIC), avaliados antes da semeadura da soja e durante o florescimento da soja na safra 2019-2020, em sistemas de renovação de pastagem, em Vicentina (textura arenosa), MS (2020).

Semeadura				
*Sistemas	C-BMS µg C g ⁻¹ solo seco	C-CO ₂ µg C-CO ₂ g ⁻¹ solo dia ⁻¹	qC-CO ₂ µg C-CO ₂ µg ⁻¹ C-BMS h ⁻¹	qMIC
1	82,01 c	5,52 b	28,59 a	0,96 b
2	82,59 c	5,46 b	27,49 a	1,17 b
3	155,26 ab	6,87 ab	18,65 b	1,55 ab
4	120,42 bc	5,82 b	20,76 ab	1,33 ab
5	151,34 ab	5,22 b	14,87 b	1,59 ab
6	163,78 ab	7,13 ab	18,83 b	1,52 ab
7	137,31 ab	5,44 b	16,49 b	1,67 ab
8	174,49 a	8,65 a	22,63 ab	1,90 a
Média	133,40	6,26	21,04	1,46
CV (%)	14,36	16,26	16,40	20,77
Florescimento				
*Sistemas	C-BMS µg C g ⁻¹ solo seco	C-CO ₂ µg C-CO ₂ g ⁻¹ solo dia ⁻¹	qC-CO ₂ µg C-CO ₂ µg ⁻¹ C-BMS h ⁻¹	qMIC
1	82,58 b	7,42 b	14,79 ab	0,98 b
2	83,08 b	7,88 b	13,54 b	1,06 b
3	146,33 b	7,54 b	17,40 ab	1,46 b
4	110,43 b	6,65 b	15,77 ab	1,20 b
5	124,94 b	5,94 b	16,64 ab	1,31 b
6	117,04 b	7,50 b	18,81 a	1,08 b
7	143,18 b	8,52 b	14,47 b	1,73 ab
8	223,80 a	14,05 a	16,05 ab	2,45 a
Média	128,92	8,19	15,93	1,41
CV (%)	24,30	15,50	11,21	29,28

Médias seguidas por letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey, $p \leq 0,05$. CV: Coeficiente de variação. *1) soja - milho safrinha - soja; 2) soja - consórcio milho safrinha *B. ruziziensis* - soja; 3) uma safra de soja 4) 8 meses de *P. maximum* e uma safra de soja; 5) 8 meses de *P. maximum* consorciado com crotalária e uma safra de soja; 6) 12 meses de *P. maximum* e uma safra de soja; 7) 12 meses de *P. maximum* consorciado com crotalária e uma safra de soja e 8) pasto inalterado.

O quociente metabólico indica o consumo de energia em ecossistemas submetidos a estresse ou distúrbio, assim ambientes estáveis ou mais próximo do estado de equilíbrio apresentam menores qC-CO₂ (ANDERSON & DOMSCH, 1993; CARDOSO et al., 2009). O qC-CO₂ avaliado

em Vicentina, na semeadura da soja, foi maior nos sistemas 1 (soja - milho safrinha - soja) e 2 (soja - consórcio milho safrinha *B. ruziziensis* - soja), indicando a necessidade de maior quantidade de carbono para manutenção da biomassa microbiana, em comparação aos sistemas 3 (uma safra de soja), 5 (8 meses de *P. maximum* consorciado com crotalária e uma safra de soja), 6 (12 meses de *P. maximum* e uma safra de soja) e 7 (12 meses de *P. maximum* consorciado com crotalária e uma safra de soja). Os sistemas 4 e 8 não diferiram dos demais sistemas (Quadro 12).

O quociente microbiano ($qMIC$), avaliado em Vicentina, na semeadura da soja, foi maior no sistema 8 (pasto inalterado), em comparação aos sistemas 1 (soja - milho safrinha - soja), 2 (soja - consórcio milho safrinha *B. ruziziensis* - soja). Os demais sistemas, não diferiram dos sistemas 1, 2 e 8. Já o quociente microbiano ($qMIC$), avaliada em Vicentina, no florescimento da soja, foi maior no sistema 8, em comparação aos sistemas 1, 2, 3, 4, 5 e 6. O sistema 7 não diferiu dos demais sistemas (Quadro 12). Esse maior $qMIC$ do sistema 8 é um indicativo de que a matéria orgânica do solo está ativa e sujeita a ser decomposta pelos microrganismos, e pode estar associada a densa massa radicular e ao aporte de resíduos vegetais provenientes da pastagem inalterada.

O carbono da biomassa microbiana (C-BMS) e a atividade microbiana do solo (C-CO₂), avaliada em Vicentina, no florescimento da soja, foram maiores no sistema 8 (pasto inalterado), em comparação aos demais sistemas. De acordo com a interpretação de indicadores microbiológicos, proposto por Mendes et al. (2019), os valores do C-BMS avaliados em Vicentina, na semeadura e no florescimento da soja 2019-2020, foram baixos (< 245 mg kg⁻¹), em todos os sistemas de renovação de pastagem (Quadro 12).

O quociente metabólico ($qC-CO_2$), avaliada em Vicentina, no florescimento da soja, foi maior nos sistemas 6 (12 meses de *P. maximum* e uma safra de soja), em comparação aos sistemas 2 (soja - consórcio milho safrinha *B. ruziziensis* - soja) e 7 (12 meses de *P. maximum* consorciado com crotalária e uma safra de soja). Os demais sistemas não diferiram dos sistemas 2, 6 e 7 (Quadro 12). O menor $qC-CO_2$ dos sistemas 2 e 7, indica uma maior incorporação do carbono do solo na biomassa microbiana, por meio da imobilização do carbono presente no solo e nas células dos microrganismos (DADALTO et al., 2015).

O cultivo de gramíneas e leguminosas, que proporciona maior diversidade de resíduos e de sistemas radiculares, favorece a manutenção dos atributos microbiológicos do solo (LAROCA et al. 2018; FONTANA et al. 2020; SOUSA et al. 2020). Isso ocorre porque os atributos microbiológicos do solo estão relacionados à quantidade, qualidade e diversidade dos resíduos vegetais depositados no solo em longo prazo, com maiores valores de biomassa microbiana em sistemas integrados de produção (SOARES et al. 2019).

De forma geral, os atributos microbiológicos do solo foram influenciados pelos sistemas de renovação de pastagens, sendo que os sistemas com a presença do *P. maximum* solteiro e consorciado com *C. ochroleuca* por 8 e 12 meses promoveram os maiores valores, o que pode estar relacionado com a maior quantidade e qualidade de material orgânico no solo, podendo ser considerada uma alternativa, para atingir maior nível de sustentabilidade ambiental nas atividades agropecuárias.

Componentes de produtividade da soja

Houve diferença entre os sistemas de renovação de pastagem para número de vagens por planta (NVPP), número de grãos por planta (NGPP), massa de cem grãos (MCG) e produtividade de grãos (PROD) da soja, cultivada em solo de textura média, em Batayporã, MS (Apêndice I). Já a soja cultivada em solo arenoso, em Vicentina, MS, houve diferença entre os sistemas de renovação de pastagem para o número de grãos por planta (NGPP), massa de cem grãos (MCG) e produtividade de grãos (PROD) (Apêndice J).

Apesar da ocorrência de períodos de estiagem e altas temperaturas em fases críticas do desenvolvimento da soja no município de Batayporã, MS (textura média), e da menor precipitação pluviométrica no município de Vicentina, MS (Textura arenosa) (Figuras 1 e 2), ambos os locais atingiram a exigência hídrica de 450 a 800 mm por ciclo (EMBRAPA, 2013), para obtenção do máximo potencial produtivo da soja.

A altura de plantas (AP) de soja avaliada em Batayporã foi maior no sistema 1 (soja - milho safrinha - soja), em comparação ao sistema 3 (uma safra de soja). Os demais sistemas não diferiram dos sistemas 1 e 3 (Quadro 13). Gava et al. (2015) afirmam que, a ocorrência de estresses nas fases importantes do desenvolvimento da soja, pode acarretar na redução da altura e produção de biomassa de parte aérea, e até mesmo abortamentos de flores e vagens, reduzindo, conseqüentemente a produtividade de grãos.

O número de vagens por planta (NVPP) e o número de grãos por planta (NGPP) de soja, foi menor no sistema 3 (uma safra de soja), em comparação ao sistema 7 (12 meses de *P. maximum* consorciado com crotalária e uma safra de soja). Os demais sistemas não diferiram estatisticamente dos sistemas 3 e 7 (Quadro 13). O número de vagens por planta é o principal componente de produtividade da soja e o que mais alterado pela utilização de práticas de manejo (CESA, 1994; PEREIRA et al., 2018). Desta forma, a permanência do *P. maximum* consorciado com crotalária por 12 meses, no sistema 7, pode ter contribuído para o maior aporte de resíduos vegetais sobre a

superfície do solo, proporcionando um microclima favorável para o desenvolvimento da soja em sucessão e, conseqüentemente, maior NVPP, em comparação ao sistema 3.

QUADRO 13. Valores médios da altura de plantas (AP), número de vagens por planta (NVPP), número de grãos por planta (NGPP), massa de cem grãos (MCG) e produtividade de grãos (PROD) da soja, cultivada em sistemas de renovação de pastagem, na safra 2019-2020, em Batayporã (textura média), MS (2020).

*Sistemas	AP (cm)	NVPP (vagens)	NGPP (grãos)	MCG (g)	PROD (kg ha ⁻¹)
1	111,25 a	40,84 ab	122,55 ab	14,62 b	3846,25 bc
2	110,25 ab	40,55 ab	126,67 ab	16,60 a	4173,00 ab
3	100,50 b	38,55 b	115,67 b	15,24 ab	3533,00 c
4	103,25 ab	40,44 ab	121,35 ab	15,97 ab	4359,00 ab
5	104,75 ab	42,10 ab	126,33 ab	16,29 ab	4293,75 ab
6	101,25 ab	44,54 ab	133,63 ab	16,30 ab	4452,75 a
7	105,75 ab	47,36 a	142,08 a	16,25 ab	4538,00 a
Média	105,29	42,05	126,90	15,90	4170,82
CV (%)	4,17	8,76	8,15	4,91	6,18

Médias seguidas por letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey, $p \leq 0,05$. CV: Coeficiente de variação. *1) soja - milho safrinha - soja; 2) soja - consórcio milho safrinha *B. ruziziensis* - soja; 3) uma safra de soja 4) 8 meses de *P. maximum* e uma safra de soja; 5) 8 meses de *P. maximum* consorciado com crotalária e uma safra de soja; 6) 12 meses de *P. maximum* e uma safra de soja; 7) 12 meses de *P. maximum* consorciado com crotalária e uma safra de soja e 8) pasto inalterado.

A massa de cem grãos (MCG) da soja foi maior no sistema 2 (soja - consórcio milho safrinha *B. ruziziensis* - soja), em comparação ao sistema 1 (soja - milho safrinha - soja). Os demais sistemas não diferiram dos sistemas 1 e 2 (Quadro 13). Provavelmente, a presença dos resíduos vegetais sobre a superfície do solo, oriundo do milho consorciado com braquiária, proporcionou microclima favorável para o enchimento de grãos da soja.

A produtividade de grãos (PROD) da soja foi maior nos sistemas 6 e 7, em comparação aos sistemas 1 (soja - milho safrinha - soja) e 3 (uma safra de soja). Os sistemas 2, 4 e 5, não diferiram estatisticamente dos sistemas 1, 6 e 7. O sistema 3, não diferiu estatisticamente do sistema 1 (Quadro 13). De modo geral, a soja se beneficiou da permanência, diversidade e aporte de resíduos vegetais sobre a superfície do solo, resultante da densa massa de raízes e parte aérea do *P. maximum* solteiro e consorciado com *C. ochroleuca* (sistemas 6 e 7), demonstrando a importância dessas espécies para o desenvolvimento da soja em sucessão.

O cultivo de gramíneas e leguminosas proporciona maior diversidade de resíduos vegetais e de sistemas radiculares, que favorecem a manutenção da qualidade do solo e proporcionam maior produtividade da soja em sucessão (LAROCA et al., 2018; GARCIA & MACHADO, 2019; SOUSA

et al., 2020). O não revolvimento do solo e a permanência e manutenção constante de plantas com alto aporte de resíduos vegetais, sobre a sua superfície, fixando carbono e reciclando nutrientes, durante todo o ano, são características de um sistema plantio direto bem conduzido (BROCH & RANNO, 2012).

O número de grãos por planta (NGPP) de soja foi menor no sistema 3 (uma safra de soja), em comparação ao sistema 6 (12 meses de *P. maximum* e uma safra de soja). Os demais sistemas não diferiram estatisticamente dos sistemas 3 e 6 (Quadro 14). O recente revolvimento do solo do sistema 3 para implantação da soja, em relação ao sistema 6, pode ter contribuído para a maior vulnerabilidade da soja as condições climáticas, reduzindo, conseqüentemente o NGPP.

A massa de cem grãos (MCG) da soja foi menor no sistema 3 (uma safra de soja), em comparação ao sistema 4 (8 meses de *P. maximum* e uma safra de soja). Os demais sistemas não diferiram estatisticamente dos sistemas 3 e 4 (Quadro 14). Provavelmente, a presença do *P. maximum* por 8 meses proporcionou o aporte de resíduos vegetais sobre a superfície do solo, o que proporcionou microclima favorável para o enchimento de grãos da soja. Além disso, a cobertura do solo tem papel fundamental para o cultivo da soja no Cerrado pois, aumenta substancialmente a capacidade de armazenamento de água no solo (FRANCHINI et al., 2016).

QUADRO 14. Valores médios do número de grãos por planta (NGPP), massa de cem grãos (MCG) e produtividade de grãos (PROD) da soja, cultivada em sistemas de renovação de pastagem, na safra 2019-2020, em Vicentina (textura arenosa), MS (2020).

*Sistemas	NGPP (grãos)	MCG (g)	PROD (kg ha ⁻¹)
1	94,44 ab	10,76 ab	2070,75 cd
2	84,16 b	10,98 ab	2249,75 bcd
3	98,83 ab	10,07 b	1874,50 d
4	123,35 ab	11,18 a	2845,50 ab
5	120,71 ab	10,40 ab	2666,50 abc
6	140,20 a	11,08 ab	2995,25 a
7	132,12 ab	11,09 ab	3237,25 a
Média	37,96	10,79	2562,79
CV (%)	21,08	4,32	10,79

Médias seguidas por letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey, $p \leq 0,05$. CV: Coeficiente de variação. *1) soja - milho safrinha - soja; 2) soja - consórcio milho safrinha *B. ruziziensis* - soja; 3) uma safra de soja 4) 8 meses de *P. maximum* e uma safra de soja; 5) 8 meses de *P. maximum* consorciado com crotalária e uma safra de soja; 6) 12 meses de *P. maximum* e uma safra de soja; 7) 12 meses de *P. maximum* consorciado com crotalária e uma safra de soja e 8) pasto inalterado.

A produtividade de grãos (PROD) da soja foi maior nos sistemas 6 e 7, em comparação aos sistemas 1 (soja - milho safrinha - soja), 2 (soja - consórcio milho safrinha *B. ruziziensis* - soja) e 3 (uma safra de soja). O sistema 4, não diferiu dos sistemas 2, 5, 6 e 7. O sistema 5, não diferiu

estatisticamente do sistema 1, 2, 4, 6 e 7. O sistema 3, não diferiu estatisticamente dos sistemas 1 e 2 (Quadro 14). O uso de plantas de cobertura, intercaladas com o cultivo de soja, é uma estratégia importante para aumentar a quantidade de carbono orgânico incorporado ao solo e para produzir alta quantidade de palha. As gramíneas apresentam crescimento radicular vigoroso, contribuindo para a formação do perfil de solo, o que facilita o desenvolvimento da soja em sucessão (FRANCHINI et al., 2016).

De acordo com a Conab (2020), a produtividade média estadual da soja na safra 2019/2020, foi de 3.530 kg ha⁻¹, enquanto a média nacional foi de 3.370 kg ha⁻¹. A produtividade da soja 2019/2020, cultivada em solo de textura média, no experimento de Batayporã, MS, ficou acima da média estadual e nacional. Entretanto, no experimento de Vicentina, MS, em que a soja foi cultivada em solo arenoso, a produtividade média ficou abaixo da média estadual e nacional (2.563 kg ha⁻¹), demonstrando a importância da adoção de práticas de manejo adequadas, para contornar os riscos de se produzir soja em solos arenosos. Todos os sistemas de renovação de pastagem que permaceram com *P. maximum* solteiro e consorciado com *C. ochroleuca* por 8 e 12 meses (4, 5, 6 e 7), obtiveram produtividade acima da média nacional.

As gramíneas forrageiras possuem alta capacidade de produção de fitomassa de parte aérea e raízes, tornando-se fundamental o cultivo de forrageiras em sistemas de integração lavoura-pecuária (BONETTI et al., 2018; MOREIRA et al., 2018). Além disso, devido as condições edafoclimáticas mais restritivas do Cerrado, a inserção de gramíneas forrageiras no sistema produtivo viabiliza o cultivo da soja em sucessão (SALTON et al., 2017).

O clima durante os experimentos foi marcado por períodos de veranicos e temperaturas elevadas, características da região. Portanto, fica evidente a importância da introdução de plantas de cobertura como o *P. maximum* solteiro e consorciado com *C. ochroleuca*, para a redução de efeitos climáticos desfavoráveis durante o cultivo da soja.

CONCLUSÕES

As operações de mecanização do solo reduzem o carbono e a matéria orgânica do solo.

O *Panicum maximum* solteiro ou consorciado com *Crotalaria ochroleuca*, contribui para o aumento da produtividade da soja em sucessão em ambas as classes texturais.

A renovação da pastagem com a sucessão soja-milho safrinha reduz a qualidade do solo e a produtividade da soja.

A utilização de *Panicum maximum* e *Crotalaria ochroleuca*, em sistemas de renovação de pastagem, proporciona melhorias na qualidade do solo e viabiliza o cultivo da soja no Cerrado brasileiro.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACOSTA-MARTÍNEZ, V.; CRUZ, L.; SOTOMAYOR-RAMÍREZ, D.; PÉREZ-ALEGRÍA, L. Enzyme activities as affected by soil properties and land use in a tropical watershed. **Applied Soil Ecology**, Amsterdã, v. 35, n. 1, p. 35-45, 2007.

ALVARENGA, M. I. N.; DAVIDE, A. C. Características físicas e químicas de um latossolo vermelho-escuro e a sustentabilidade de agroecossistemas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, n. 1, p. 933-942, 1999.

ALVES, B. J. R.; MADARI, B. E.; BODDEY, R. M. Integrated crop–livestock–forestry systems: prospects for a sustainable agricultural intensification. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Madison, v. 108, n. 1, p. 1-4, 2017.

ALVES, T. D. S.; CAMPOS, L. L.; ELIAS NETO, N.; MATSUOKA, M.; LOUREIRO, M. F. Biomassa e atividade microbiana de solo sob vegetação nativa e diferentes sistemas de manejos. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 33, n. 2, p. 341-347, 2011.

ANDERSON, J. P. E.; DOMSCH, K. H. The metabolic quotient of CO₂ (*q*CO₂) as a specific activity parameter to assess the effects of environmental condition, such as pH, on the microbial of forest soil. **Soil Biology and Biochemistry**, Amsterdã, v. 25, n. 3, p. 393-395, 1993.

ANDREA, M. C. S.; BOOTE, K. J.; SENTELHAS, P. C.; ROMANELLI, T. L. Variability and limitations of maize production in Brazil: Potential yield, water-limited yield and yield gaps. **Agricultural Systems**, Hamilton, v. 165, n. 7, p. 264-273, 2018.

ANGHINONI, I. **Fertilidade do solo e seu manejo em sistema plantio direto**. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (Ed.) Fertilidade do solo. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, 2007, p. 873-928.

ARAÚJO NETO, S. E.; SILVA, A. L. N.; KUSDRA, J. F.; KONLLS, F.; ANDRADE NETO, R. C. Atividade biológica de solo sob cultivo múltiplo de maracujá, abacaxi, milho, mandioca e plantas de cobertura. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 45, n. 4, p. 650-658, 2014.

AZIZSOLTANI, E.; HONARJOO, N.; AYOUBI, S. How soil pore distribution could help in soil quality studies as an appropriate indicator. **Eurasian Soil Science**, v. 52, n. 1, p. 654-660, 2019.

BAKHSHANDEH, E.; FRANCAVIGLIA, R.; RENZI, G. A cost and time-effective method to evaluate soil microbial respiration for soil quality assessment. **Applied Soil Ecology**, Amsterdã, v. 140, n. 2, p. 121-125, 2019.

BALOTA, E. L. **Manejo e qualidade biológica do solo**. 1. ed. Londrina: Editora Mecenias, 2017. 288p.

- BALOTA, E. L.; KANASHIRO, M.; COLOZZI, A.; ANDRADE, D. S.; DICK, R. P. Soil enzyme activities under long-term tillage and crop rotation systems in subtropical agro-ecosystems. **Brazilian Journal of Microbiology**, São Paulo, v. 35, p. 300-396, 2004.
- BALOTA, E. L.; NOGUEIRA, M. A.; MENDES, I. C.; HUNGRIA, M.; FAGOTTI, D. S.; MELO, G. M. P.; SOUZA, R. C. MELO, W. J. Enzimas e seu papel na qualidade do solo. **Tópicos em Ciência do Solo**, Viçosa, v. 8, n. 1, p. 221-278, 2013.
- BATTISTI, R.; SENTELHAS, P. C. Improvement of soybean resilience to drought through deep root system in Brazil. **Agronomy Journal**, Madison, v. 109, n. 4, p. 1612-1622, 2017.
- BATTISTI, R.; SENTELHAS, P. C.; PARKER, P. S.; NENDEL, C.; C'MARA, G. M. S.; FARIAS, J. R. B.; BASSO, C. J. Assessment of crop-management strategies to improve soybean resilience to climate change in Southern Brazil. **Crop and Pasture Science**, Melbourne, v. 69, n. 12, p. 154-162, 2018.
- BERTOL, I.; BEUTLER, J. F.; LEITE, D.; BATISTELA, O. Propriedades físicas de um Cambissolo Húmico afetadas pelo tipo de manejo do solo. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 58, n. 3, p. 555-560, 2001.
- 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**, Brasília, v. 53, n. 11, p. 1239-1247, 2018.
- BORGES, W. L. B.; FREITAS, R. S.; MATEUS, G. P.; SÁ, M. E.; ALVES, M. C. Supressão de plantas daninhas utilizando plantas de cobertura do solo. **Planta daninha**, Viçosa, v. 32, n. 4, p. 755-763, 2014.
- BROCH, D. L.; RANNO, S. K. **Fertilidade do solo, adubação e nutrição da cultura da soja**. In: Tecnologia e Produção: Soja e Milho 2011/2012. Fundação MS, Maracaju, 2012. p. 2-38.
- CAIRES, E. F.; GARBUIO, F. J.; CHURKA, S.; BARTH, G.; CORRÊA, J. C. L. Effects of soil acidity amelioration by surface liming on no-till corn, soybean, and wheat root growth and yield. **European Journal of Agronomy**, Amsterdã, v. 28, n. 1, p. 57 - 64, 2008.
- CARDOSO, E. L.; SILVA, M. L. N. ; MOREIRA, F. M. S. ; CURI, N. Atributos biológicos indicadores da qualidade do solo em pastagem cultivada e nativa no Pantanal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 44, n. 6, p. 631-637, 2009.
- CARNEIRO, M. A. C.; SOUZA, E. D. D.; REIS, E. F. D.; PEREIRA, H. S.; AZEVEDO, W. R. D. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo de cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, n. 1, p. 147-157, 2009.
- CARVALHO, J. S.; KUNDE, R. J.; STÖCKER, C. M.; LIMA, A. C. R.; SILVA, J. L. S. Evolução de atributos físicos, químicos e biológicos em solo hidromórfico sob sistemas de integração lavoura-pecuária no bioma Pampa. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 51, n. 9, p. 1131-1139, 2016.

CECCON, G.; STAUT, L. A.; SAGRILO, E.; MACHADO, L. A. Z.; NUNES, D. P.; ALVES, V. B. Legumes and forage species sole or intercropped with corn in soybean-corn succession in Midwestern Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 37, n. 1, p. 204-212, 2013.

CESA, Cooperative Extension Service Ames. **How a soybean plant develops**. 1 ed. Ames: Iowa State University of Science and Technology, 1994. 20p.

CHAN, K. Y.; BOWMAN, A.; OATES, A. Oxidizable organic carbon fractions and soil quality changes in an oxic paleustalf under different pasture leys. **Soil Science**, Philadelphia, v. 166, n. 1, p. 61-67, 2001.

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

COELHO, M. R.; SANTOS, H. G.; SILVA, E. F.; AGLIO, M. L. D. **O Recurso Natural Solo**. In.: MANZATTO, C. V. (org.). *Uso Agrícola dos Solos Brasileiros*. Rio de Janeiro. Embrapa Solos, 2002, cap. 1, p. 1-12.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**, v. 8 - Safra 2020/21, n. 12 – Décimo segundo levantamento, Brasília, p. 1-97, Setembro 2021. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/infoagro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos>> Acesso em: 30 out. 2021.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**, v. 7 - Safra 2019/20, n. 8 – Oitavo levantamento, Brasília, p. 1-97, Maio 2020. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/infoagro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos>> Acesso em: 30 out. 2021.

CRUZ, C. D. Genes Software - extended and integrated with the R, Matlab and Selegen. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 38, n. 4, p. 547-552, 2016.

DADALTO, J. P.; FERNANDES, H. C.; TEIXEIRA, M. M.; CECON, P. R.; MATOS, A. T. Sistema de preparo do solo e sua influência na atividade microbiana. **Journal of the Brazilian Association of Agricultural Engineering**, Jaboticabal, v. 35, n. 3, p. 506-513, 2015.

DEBIASI, H.; FRANCHINI, J. C.; CONTE, O.; BALBINOT JUNIOR, A. A.; TORRES, E.; SARAIVA, O. F.; OLIVEIRA, M. C. N. **Sistemas de preparo do solo: trinta anos de pesquisas na Embrapa Soja**. Londrina: Embrapa Soja, 2013, 72 p. (Documentos, n. 342).

DEBIASI, H.; FRANCHINI, J. C.; DIAS, W. P.; RAMOS JUNIOR, E. U.; BALBINOT JUNIOR, A. A. Práticas culturais na entressafra da soja para o controle de *Pratylenchus brachyurus*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 51, n. 10, p. 1720-1728, 2016.

DENG, A. M.; TABATABAI, M. A. Effect of tillage and residue management on enzyme activities in soils: III. Phosphatases and arylsulphatase. **Biology and Fertility of soils**, Berlin, v. 24, n. 1, p. 141-146, 1997.

DONAGEMMA, G. K.; FREITAS, P. L.; BALIEIRO, F. C.; FONTANA, A.; SPERA, S. T.; LUMBRERAS, J. F.; VIANA, J. H. M.; FILHO, J. C. A.; SANTOS, F. C.; ALBUQUERQUE, M.

R.; MACEDO, M. C. M.; TEIXEIRA, P. C.; AMARAL, A. J.; BORTOLON, E.; BORTOLON, L. Caracterização, potencial agrícola e perspectivas de manejo de solos leves no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.51, n.9, p.1003-1020, 2016.

DUARTE, Y. C. N. **Modelos de simulação da cultura do milho – uso na determinação das quebras de produtividade (Yield Gaps) e na previsão de safra na cultura no Brasil**. 2018. 198 f. Dissertação (Mestrado) Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, SP.

EMBRAPA. **BRS Zuri, produção e resistência para a agropecuária**. Embrapa Gado de Corte, 2013, 2p.

FALLEIRO, R. M.; SOUZA, C. M.; SILVA, C. S. W.; SEDIYAMA, C. S.; SILVA, A. A.; FAGUNDES, J. L. Influência dos sistemas de preparo nas propriedades químicas e físicas do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 1, p. 1097-1104, 2003.

FIDELIS, R. R.; ALEXANDRINO, C. M. S.; SILVA, D. B.; SUGAI M.A.A.; SILVA, R. R. Indicadores biológicos de qualidade do solo em culturas intercalares ao pinhão 18 manso. **Brazilian Journal of Applied Technology for Agricultural Science**, Nata, v. 9, n. 3, p. 87-95, 2016.

FONTANA, A.; FREITAS, P. L. de.; DONAGEMMA, K.; SALTON, J. C. Solos arenosos: a nova fronteira agrícola brasileira. **A Granja**, Porto Alegre, n. 853, ed. especial, p. 80-81, 2020.

FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G.; BALIEIRO, F. C.; MOURA, T. P. A.; DE MENEZES, A. R.; SANTANA, C. I. Características e atributos de Latossolos sob diferentes usos na região Oeste do Estado da Bahia. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 51, n. 9, p. 1457-1465, 2016.

FORTE, C. T.; GALON, L.; BEUTLER, A. N.; PERIN, G. F.; PAULETTI, E. S. S.; BASSO, F. J. M.; HOLZ, C. M.; SANTIN, C. O. Coberturas vegetais do solo e manejo de cultivo e suas contribuições para as culturas agrícolas. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 13, n. 1, p. 1-10, 2018.

FRANCHINI, J. C.; BALBINOT JUNIOR, A. A.; DEBIASI, H.; COSTA, J. M.; SICHIERI, F. R.; TEIXEIRA, L. C. **Soja em solos arenosos: papel do sistema plantio direto e da integração lavoura-pecuária**. Circular Técnica, 116. Londrina: Embrapa Soja, 2016, 10p.

FREITAS, D. A. F. de; SILVA, M. L. N.; CASTRO, N. E. A. de; CARDOSO, D. P.; DIAS, A. C.; CARVALHO, G. J. de. Modelagem da proteção do solo por plantas de cobertura no sul de Minas Gerais. **Revista Agro@mbiente On-line**, Boa Vista, v. 6, n. 2, p. 117- 123, 2012.

GARCIA, R. A.; MACHADO, L. A. Z. **Braquiária com crotalária na entressafra: efeito positivo na soja em sucessão**. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 83. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2019. 18p.

GARCIA, R. A.; STAUT, L. A. **Como inserir crotalária em sistemas de produção de grãos**. Circular Técnica, 44. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2018. 12p.

GAVA, R.; FRIZZONE, J. A.; SNYDER, R. L.; JOSE, J. V.; FRAGA JUNIOR, E. F.; PERBONI, A. Estresse hídrico em diferentes fases da cultura da soja. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v. 9, n. 6, p. 349-359, 2015.

GONTIJO, N. M. M.; BORGHI, E.; RESENDE, Á. V.; ALVARENGA, R. C. Benefícios e desafios da integração lavoura-pecuária na melhoria da qualidade dos solos do cerrado. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, v. 161, p. 9-21, 2018.

GUIMARÃES, N. F.; GALLO, A. S.; FONTANETTI, A.; MENEGHIN, S. P.; SOUZA, M. D. B.; MORINIGO, K. P. G.; SILVA, R. F. Biomassa e atividade microbiana do solo em diferentes sistemas de cultivo do cafeeiro. **Revista de Ciências Agrárias**, Lisboa, v. 40, n. 1, p. 34-44, 2017.

INMET. **Instituto Nacional de Meteorologia**, Brasília, 2021. Disponível em: <<https://portal.inmet.gov.br/dadoshistoricos>> Acesso em: 28 set. 2021.

KIANI, M.; HERNANDEZ-RAMIREZ, G.; QUIDEAU, S. SMITH, E.; JANZEN, H.; LARNEY, F. J.; PUURVEEN, D. Quantifying sensitive soil quality indicators across contrasting long-term land management systems: Crop rotations and nutrient regimes. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 248, p. 123-135, 2017.

KIEHL, E. J. **Manual de edafologia: Relações solo-planta**. 1 ed. São Paulo: Agronômica Ceres, 1979. 262 p.

LAROCA, J. V. S.; SOUZA, J. M. A.; PIRES, G. C.; PIRES, G. J. C.; PACHECO, L. P.; SILVA, F. D.; WRUCK, F. J.; CARNEIRO, M. A. C.; SILVA, L. S.; SOUZA, E. D. Soil quality and soybean productivity in crop-livestock integrated system in no-tillage. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 53, n. 11, p. 1248-1258, 2018.

LEWANDOWSKI, A. T. E.; FORRESTER, J. A.; MLADENOFFA, D. J.; D'AMATOB, A. W.; FASSNACHTC, D. S. A.; PADLEYD, E.; MARTINE, K. J. Do biological legacies moderate the effects of forest harvesting on soil microbial community composition and soil respiration. **Forest Ecology and Management**, Umeå, v. 432, n. 1, p. 298-308, 2019.

LISBOA, B. B.; VARGAS, L. K.; SILVEIRA, A. O.; MARTINS, A. F.; SELBACH, P. A. Indicadores microbianos de qualidade do solo em diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 36, n. 1, p. 33-44, 2012.

LOPES, A. A. C.; SOUSA, D. M. G.; REIS JUNIOR, F. B.; MENDES, I. C. Air-drying and long-term storage effects on β -glucosidase, acid phosphatase and arylsulfatase activities in a tropical Savannah Oxisol. **Applied Soil Ecology**, Amsterdã, v. 93, n. 9, p. 68-77, 2015.

LOURENTE, E. R. P.; MERCANTE, F. M.; ALOVISI, A. M. T.; GASPARINI, A. S.; GOMES, C. F.; NUNES, C. M. Atributos microbiológicos, químicos e físicos do solo sob diferentes sistemas de manejo e condições de Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 41, n. 1, p. 20-28, 2011.

LUMBRERAS, J.F.; CARVALHO FILHO, A. de; MOTTA, P.E.F. da; BARROS, A.H.C.; AGLIO, M.L.D.; DART, R. de O.; SILVEIRA, H.L.F. da; QUARTAROLI, C.F.; ALMEIDA, R.E.M. de; FREITAS, P.L. de. **Aptidão agrícola das terras do MATOPIBA**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2015. 48p. il. color. (Embrapa Solos. Documentos, 179).

LUZ, M. J. S.; FERREIRA, G. B.; BEZERRA, J. R. C. **Adubação e correção do solo: procedimentos a serem adotados em função dos resultados da análise do solo**. Circular Técnica, 63. Campina Grande: Embrapa Algodão, 2002. 32p.

MACHADO, L. A. Z.; GARCIA, R. A. **Rendimento de grãos e produção de forragem na sucessão soja e gramíneas perenes consorciadas com crotalárias**. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 88. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2021. 29p.

MAHARJAN, M.; SANAULLAH, M.; RAZAVI, B. S.; KUZYAKOV, Y. Effect of land use and management practices on microbial biomass and enzyme activities in subtropical top-and sub-soils. **Applied Soil Ecology**, Amsterdã, v. 113, n. 5, p. 22–28, 2017.

MELERO, S.; VANDERLINDENA, K.; RUIZA, J.C.; MADEJONB, E. Long-term effect on soil biochemical status of a Vertisol under conservation tillage system in semi-arid Mediterranean conditions. **European Journal Soil Biology**, v. 44, n. 1, p. 437-442, 2008.

MENDES, I. C.; SOUSA, D. M. G.; REIS JUNIOR, F. B.; ALVES, C. L. A. **Indicadores de qualidade biológica para manejo sustentável de solos arenosos**. In: Boletim Informativo Sociedade Brasileira de Ciência do Solo - Desafios para o manejo de solos arenosos, Campinas, v. 44, n. 1, p. 20-25, 2018.

MENDES, I. C.; SOUZA, D. M. G.; REIS JUNIOR, F. B. Bioindicadores de qualidade de solo: dos laboratórios de pesquisa para o campo. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, Brasília, v. 32, n. 1, p. 185-203, 2015.

MENDES, I. C.; SOUZA, L. M.; SOUSA, D. M. G.; LOPES, A. A. C.; REIS-JUNIOR, F. B.; LACERDA, M. P. C.; MALAQUIAS, J. V. Critical limits for microbial indicators in tropical Oxisols at post-harvest: The FERTBIO soil sample concept. **Applied soil ecology**, Amsterdã, v. 139, p. 85-93, 2019.

MENDES, I. C.; SOUZA, L. V.; RESCK, D. V. S.; GOMES, A. C. Biological properties of aggregates from a Cerrado oxisol under conventional and no-till management systems. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 3, p. 435-443, 2003.

MOREIRA, F. R.; DECHEN, S. C. F.; SILVA, A. P.; FIGUEIREDO, G. C.; MARIA, I. C.; PESSONI, P. T. Intervalo hídrico ótimo em um Latossolo Vermelho cultivado em sistema semeadura direta por 25 anos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 38, n. 1, p.118-27, 2014.

MOREIRA, R. S.; CHIBA, M. K.; DE MARIA, I. C.; SIQUEIRA, C. C. Z.; DUARTE, A. P.; MILORI, D. M. B. P. Role of Crop rotations in the dynamic of soil organic matter pools. **Journal of Agricultural Science**, High Prairie, v. 10, n. 8, p. 341-351, 2018.

NOGUEIRA, M. A.; MELO, W. J. Enxofre disponível para soja e atividade da arilsulfatase em solo tratado com gesso agrícola. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 4, p. 655-663, 2003.

NÓIA JÚNIOR, R. S.; SENTELHAS, P. C. Soybean-maize off-season double crop system in Brazil as affected by El Niño Southern Oscillation phases. **Agricultural Systems**, Hamilton, v. 173, n. 6, p. 254-267, 2019.

NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J.; NUNES, F. N. **Fósforo**. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ, V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (Ed.) Fertilidade do solo. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, 2007, p. 471-550.

PACHECO, L. P.; BARBOSA, J. M.; LEANDRO, W. M.; MACHADO, P. L. O. D. A.; ASSIS, R. L. D.; MADARI, B. E.; PETTER, F. A. Produção e ciclagem de nutrientes por plantas de cobertura nas culturas de arroz de terras altas e de soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, n. 5, p. 1787-1800, 2011.

PANDEY, D.; AGRAWAL, M.; BOHRA, J. S. Effects of conventional tillage and no tillage permutations on extracellular soil enzyme activities and microbial biomass under rice cultivation. **Soil and Tillage Research**, Amsterdã, v. 136, n. 3, p. 51-60, 2014.

PELUCO, R. C.; JOSÉ, M. J.; SIQUEIRA, D. S.; PEREIRA, G. T. Mapeamento do fósforo adsorvido por meio da cor e da suscetibilidade magnética do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 50, n. 3, p. 259-266, 2015.

PEREIRA, A. P.; SCHOFFEL, A.; KOEFENDER, A.; CAMERA, J. N.; GOLLE, D. P.; HORN, R. C. Ciclagem de nutrientes por plantas de cobertura de verão. **Revista de Ciências Agrárias**, Lisboa, v. 40, n. 4, p. 799-807, 2017.

PEREIRA, M. W.; MEERT, L.; OLIVEIRA NETO, A. M.; GUERRA, N.; KRENSKI, A.; WILLWOCK, L. Características agrônômicas de soja em função de espaçamentos entre linhas de semeadura. **Colloquium Agrariae**, Presidente Prudente, v. 14, n. 3, p. 187-193, 2018.

PROJETO MAPBIOMAS. **Uso e cobertura do solo**, Infográficos, coleção 6, 2021. Disponível em: <<https://mapbiomas.org/infograficos-1>> Acesso em: 07 de out. 2021.

RABOT, E.; WIESMEIER, M.; SCHLÜTER, S.; VOGEL, H. J. Soil structure as an indicator of soil functions: A review. **Geoderma**, Wageningen, v. 314, n. 3, p. 122-137, 2018.

REATTO, A.; CORREIA, J. R.; SPERA, S. T. **Solos do bioma Cerrado: aspectos pedológicos**, p. 47-86. In: SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P. (ed.) Cerrado: ambiente e flora. Planaltina: Embrapa-CPAC, 1998. 556 p.

REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; BRAIDA, J. A. Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. **Ciência & Ambiente**, Santa Maria, v. 27, n. 1, p. 29-48, 2003.

RESENDE, A. V.; FONTOURA, S. M. V.; BORGHI, E.; SANTOS, F. C.; KAPPES, C.; MOREIRA, S. G.; OLIVEIRA JUNIOR, A.; BORIN, A. L. D. C. Solos de fertilidade construída: características, funcionamento e manejo. **Informações Agrônômicas**, Piracicaba, v. 156, p. 1-17, 2016.

RIBEIRO, R. A.; MOREIRA, W. K. O.; JÚNIOR, Z. F. C.; COSTA, S. S. A. J.; RAYOL, B. P. Efeitos da mecanização nas características física do solo em sistema agroflorestal no município de Capitão Poço, Pará. **Cadernos de Agroecologia**, Rondonópolis, v. 10, n. 3, 2016.

ROLDÁN, N. S.; SALINAS-GARCÍA, J. R.; ALGUACIL, M. M.; CARAVACA, F. Does cropping modify the decomposition function and the diversity of the soil microbial Community of tropical fallow soil? **Soil and Tillage Research**, New York, v. 93, p. 273-282, 2007.

RONQUIM, C. C. **Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para regiões tropicais**. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 8. Campinas: Embrapa Centro Nacional de Pesquisa de Monitoramento por Satélite, 2010. 26p.

ROSCOE, R.; MERCANTE, F. M.; SALTON, J. C. **Dinâmica da matéria orgânica do solo em sistemas conservacionistas: modelagem matemática e métodos auxiliares**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2006, 304p.

ROSCOE, R.; MIRANDA, R. A. S. **Manejo da adubação do milho safrinha**. In: Tecnologia e Produção: Milho Safrinha e Culturas de Inverno. Fundação MS, Maracaju, 2019. p. 16-36.

SALTON, J. C.; ARANTES, M.; ZIMMER, A. H.; RICHETTI, A.; TOMAZI, M.; KRUKER, J. M.; MERCANTE, F. M.; KICHEL, A. N. **Sistema São Mateus: viabilidade técnica-econômica do sistema integrado de produção no bolsão Sul-Mato-Grossense**. Circular Técnica, 40. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2017. 12p.

SALTON, J. C.; KICHEL, A. N.; ARANTES, M.; KRUKER, J. M.; ZIMMER, A. H.; MERCANTE, F. M.; ALMEIDA, R. G. **Sistema São Mateus - Sistema de integração lavoura-pecuária para a região do Bolsão Sul-Mato-Grossense**. Comunicado Técnico, 186. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2013. 6p.

SALTON, J. C.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; FABRÍCIO, A. C.; MACEDO, M. C. M.; BROCH, D. L. Teor e dinâmica do carbono no solo em sistemas de integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 46, n. 10, p. 1349-1356, 2011.

SALTON, J. C.; TOMAZI, M. **Sistema radicular de plantas e qualidade do solo**. Comunicado Técnico, 198. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2014. 5p.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. Á.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; ARAÚJO FILHO, J. C.; OLIVEIRA, J. B.; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5.ed. Rio de Janeiro: Embrapa, 2018. 187p.

SILVA, M. S.; OLIVEIRA, G. R. F.; MERLOTI, L. F.; SÁ, M. E. Acúmulo de nutrientes e massa seca produzida por *Crotalaria juncea* cultivada no cerrado. **Brazilian Journal of Biosystems Engineering**, Tupã, v. 11, n. 1, p. 26-36, 2017.

SILVA, R. R.; SILVA, M. L. N.; CARDOSO, E. L.; MOREIRA, F. M. de S.; CURL, N.; ALOVISI, A. M. T. Biomassa e atividade microbiana em solos sob diferentes sistemas de manejo na região fisiográfica Campo das Vertentes - MG. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, n. 5, p. 1585-1592, 2010.

SOARES, D. S.; RAMOS, M. L. G.; MARCHÃO, R. L.; MACIEL, G. A. A.; DE OLIVEIRA, A. D.; MALAQUIAS, J. V.; DE CARVALHO, A. M. How diversity of crop residues in long-term no-tillage systems affect chemical and microbiological soil properties. **Soil and Tillage Research**, Amsterdã, v. 194, n. 4, p. 104316, 2019.

SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. **Areia Quartzosa/Neossolo Quartzarênico**. Agência de Informação Embrapa. Bioma Cerrado. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Agencia16/AG01/arvore/AG01_2_10112005101955.html> Acesso em 12 de novembro de 2021a.

SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. **Cerrado: Correção do solo e adubação**. 2. ed. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2004. 406 p.

SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. **Latossolos**. Agência de Informação Embrapa. Bioma Cerrado. Disponível em: http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Agencia16/AG01/arvore/AG01_96_10112005101956.html > Acesso em 12 de novembro de 2021b.

SOUSA, H. M.; CORREA, A. R.; SILVA, B. M.; OLIVEIRA, S. S.; CAMPOS, D. T. S.; WRUCK, F. J. Dynamics of soil microbiological attributes in integrated crop-livestock systems in the cerrado-amazonônia ecotone. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 33, n. 1, p. 9-20, 2020.

TABATABAI, M. A. Soil Enzymes. In: WEAVER, R. W.; SCOTT, A. BOTTOMELEY, P. J.; BEZDICEK, D.; SMITH, S.; TABATABAI, M. A. Methods of soil analysis: Microbiological and Biochemical Properties. **Soil Science Society of America**, Madison, v. 5, n. 5, p. 778-835, 1994.

TAIZ, L.; ZEIGER, E; MOLLER, I. M; MURPHY, A. **Fisiologia e Desenvolvimento**. Revisão técnica: Paulo Luiz de Oliveira. – 6. ed. – Porto Alegre: Artmed, p. 888, 2017.

TATE, K. R.; ROSS, D. J.; FELTHAM, C. W. A direct extraction method to estimate soil microbial C: effects of experimental variables and some different calibration procedures. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 20, n. 3, p. 329-335, 1988.

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. **Manual de métodos de análise de solos**. 3. ed. revista e ampliada. Brasília (DF): EMBRAPA, 2017, 574p.

TNC.; EMBRAPA. **Recuperação de solos degradados no Cerrado: alternativas para produção sustentável**, Brasília, v.1, n. 1, p. 1 - 59, 2021.

TRANNIN, I. C. B.; SIQUEIRA, J. O.; MOREIRA, F. M. S. Características biológicas do solo indicadoras de qualidade após dois anos de aplicação de biossólido industrial e cultivo de milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.31, p.1173-1184, 2007.

VANCE, E. D.; BROOKES, P. C.; JENKINSON, D. S. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 19, n. 6, p.703-707, 1987.

VICTORIA, D. C.; BOLFE, E. L.; SANO, E. E.; ASSAD, E.; ANDRADE, R. G.; GUIMARAES, D. P.; LANDAU, E. C. **Potencialidades para expansão e diversificação agrícola sustentável do Cerrado**. In: BOLFE, E. L.; SANO, E. E.; CAMPOS, S. K. Dinâmica agrícola no cerrado: análises e projeções. 1 ed. Brasília: Embrapa, 2020, v. 1, p. 229-258.

WUTKE, E. B.; CALEGARI, A.; WILDNER, L. D. P. **Espécies de adubos verdes e plantas de cobertura e recomendações para seu uso**. In: LIMA FILHO, O. F.; AMBROSANO, E. J.; ROSSI, F. Adubação verde e plantas de cobertura no Brasil. Brasília: Embrapa Agropecuária Oeste, v. 1, p. 59-168, 2014.

ZORNOZA, R.; ACOSTA, J. A.; BASTIDA, F.; DOMÍNGUEZ, S. G.; TOLEDO, D. M.; FAZ, A. Identification of sensitive indicators to assess the interrelationship between soil quality, management practices and human health, **Soil**, Germany, v. 1, n. 1, p. 173- 185, 2015.

APÊNDICE A. Resumo da análise de variância para o pH CaCl₂, Al³⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺, H+Al, P (Mehlich⁻¹), SB, CTC, V%, Ctotal e MO, avaliados após a colheita da soja 2019-2020, em cada profundidade do solo, em sistemas de renovação de pastagem, em Batayporã, MS (2020).

Quadrado Médio (profundidade 0 - 10 cm)														
Fonte de variação	GL	pH (1:2,5)	Al ³⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	H+Al	P	SB	CTC	V%	Ctotal	MO	
			-----cmolc dm ⁻³ -----						mg dm ⁻³	-----cmolc dm ⁻³ -----		%	%	g kg ⁻¹
Blocos	6	0,04	0,00	0,08	0,00	0,00	0,10	7,01	0,04	0,03	13,33	0,01	4,94	
Sistemas	7	0,42**	0,01**	0,15 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,05**	1,28**	359,28**	0,49 ^{ns}	0,33**	487,48**	0,35**	7,55 ^{ns}	
Resíduo	42	0,02	0,00	0,12	0,01	0,01	0,12	12,27	0,27	0,07	34,45	0,42	3,55	
Total	63	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Média	-	5,61	0,02	3,09	0,67	0,40	2,17	20,30	4,21	6,26	65,34	2,21	22,86	
CV (%)	-	2,72	102,87	11,06	13,07	17,64	16,14	17,25	12,37	4,18	8,98	9,25	8,25	
Quadrado Médio (profundidade 10 - 20 cm)														
Fonte de variação	GL	pH (1:2,5)	Al ³⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	H+Al ³⁺	P	SB	CTC	V%	Ctotal	MO	
			-----cmolc dm ⁻³ -----						mg dm ⁻³	-----cmolc dm ⁻³ -----		%	%	g kg ⁻¹
Blocos	6	0,01	0,01	0,10	0,00	0,00	0,29	0,31	0,14	0,60	55,56	0,02	6,69	
Sistemas	7	0,10 ^{ns}	0,05 ^{ns}	0,29*	0,01*	0,00 ^{ns}	0,16 ^{ns}	1,35 ^{ns}	0,12 ^{ns}	0,22 ^{ns}	48,51 ^{ns}	0,02*	3,58 ^{ns}	
Resíduo	42	0,08	0,02	0,10	0,00	0,01	0,17	1,18	0,09	0,16	44,03	0,01	2,16	
Total	63	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Média	-	4,73	0,16	1,23	0,31	0,17	2,58	2,48	1,90	4,21	41,56	0,86	15,51	
CV (%)	-	5,83	93,52	25,50	20,89	58,46	15,94	43,70	15,80	9,36	15,97	9,97	9,98	
Quadrado Médio (profundidade 20 - 30 cm)														
Fonte de variação	GL	pH (1:2,5)	Al ³⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	H+Al	P	SB	CTC	V%	Ctotal	MO	
			-----cmolc dm ⁻³ -----						mg dm ⁻³	-----cmolc dm ⁻³ -----		%	%	g kg ⁻¹
Blocos	6	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,19	0,90	0,04	0,10	42,98	0,00	2,28	
Sistemas	7	0,06 ^{ns}	0,03 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,02*	0,00 ^{ns}	0,18 ^{ns}	0,78 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,11 ^{ns}	95,34 ^{ns}	0,03*	8,92*	
Resíduo	42	0,06	0,02	0,04	0,01	0,00	0,19	0,59	0,06	0,08	71,95	0,01	2,57	
Total	63	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Média	-	4,46	0,22	0,97	0,29	0,11	2,51	1,58	1,30	3,94	36,45	0,67	11,67	
CV (%)	-	5,49	70,00	19,66	25,16	50,76	17,58	48,77	18,29	6,99	23,27	14,22	13,74	

pH CaCl₂: potencial hidrogeniônico em cloreto de cálcio; Al³⁺: Alumínio; Ca²⁺: cálcio; Mg²⁺: magnésio; K⁺: potássio; H+Al: acidez potencial; P: fósforo; SB: soma de bases trocáveis; CTC: capacidade de troca catiônica; V%: saturação por bases; Ctotal: carbono orgânico total e MO: matéria orgânica. ^{ns}, ^{**} e ^{*} = não significativo, significativo a p ≤ 0,01 e a p ≤ 0,05, respectivamente pelo teste F. CV: coeficiente de variação.

APÊNDICE B. Resumo da análise de variância para o pH CaCl₂, Al³⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺, H+Al, P (Mehlich⁻¹), SB, CTC, V%, Ctotal e MO, avaliados após a colheita da soja 2019-2020, em cada profundidade do solo, em sistemas de renovação de pastagem, em Vicentina, MS (2020).

Quadrado Médio (profundidade 0 - 10 cm)														
Fonte de variação	GL	pH (1:2,5)	Al ³⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	H+Al	P	SB	CTC	V%	Ctotal	MO	
			-----cmolc dm ⁻³ -----						mg dm ⁻³	-----cmolc dm ⁻³ -----		%	%	g kg ⁻¹
Blocos	6	0,03	0,00	0,05	0,01	0,00	0,01	23,97	0,12	0,05	37,26	0,05	4,54	
Sistemas	7	0,02 ^{ns}	0,01 ^{**}	0,17 ^{ns}	0,02 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,05 ^{ns}	138,56 ^{**}	0,30 ^{ns}	0,36 ^{ns}	28,37 ^{ns}	0,35 [*]	35,94 ^{**}	
Resíduo	42	0,02	0,00	0,06	0,02	0,01	0,04	11,82	0,15	0,15	29,23	0,03	3,44	
Total	63	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Média	-	5,42	0,02	1,40	0,66	0,20	2,01	32,27	2,23	4,38	50,31	1,52	15,15	
CV (%)	-	2,85	113,46	17,47	20,91	39,97	9,16	10,65	17,11	8,75	10,75	11,96	12,25	
Quadrado Médio (profundidade 10 - 20 cm)														
Fonte de variação	GL	pH (1:2,5)	Al ³⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	H+Al ³⁺	P	SB	CTC	V%	Ctotal	MO	
			-----cmolc dm ⁻³ -----						mg dm ⁻³	-----cmolc dm ⁻³ -----		%	%	g kg ⁻¹
Blocos	6	0,01	0,00	0,02	0,00	0,02	0,17	24,85	0,09	0,26	34,67	0,01	1,62	
Sistemas	7	0,08 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,21 ^{**}	0,01 ^{ns}	0,03 [*]	0,03 ^{ns}	144,43 ^{**}	0,47 ^{**}	0,62 ^{**}	115,35 ^{ns}	0,02 ^{**}	6,56 ^{**}	
Resíduo	42	0,02	0,00	0,03	0,01	0,01	0,12	9,74	0,07	0,14	64,13	0,00	1,09	
Total	63	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Média	-	4,77	0,07	0,95	0,31	0,19	1,71	19,16	1,48	3,16	46,04	0,51	8,76	
CV (%)	-	3,09	90,45	17,07	23,33	50,68	20,54	16,29	17,87	11,63	17,39	12,03	11,91	
Quadrado Médio (profundidade 20 - 30 cm)														
Fonte de variação	GL	pH (1:2,5)	Al ³⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	H+Al	P	SB	CTC	V%	Ctotal	MO	
			-----cmolc dm ⁻³ -----						mg dm ⁻³	-----cmolc dm ⁻³ -----		%	%	g kg ⁻¹
Blocos	6	0,08	0,01	0,07	0,04	0,01	0,14	395,47	0,24	0,23	138,01	0,01	1,40	
Sistemas	7	0,05 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,07 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,10 ^{ns}	371,97 ^{ns}	0,19 ^{ns}	0,18 ^{ns}	105,27 ^{ns}	0,01 ^{ns}	1,64 ^{ns}	
Resíduo	42	0,05	0,02	0,05	0,02	0,00	0,13	209,34	0,10	0,11	101,10	0,00	1,25	
Total	63	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Média	-	4,54	0,11	0,83	0,32	0,16	1,66	12,86	1,25	2,95	42,87	0,43	7,53	
CV (%)	-	5,15	76,39	26,60	38,93	42,43	21,48	112,49	25,67	11,33	23,45	13,34	14,86	

pH CaCl₂: potencial hidrogeniônico em cloreto de cálcio; Al³⁺: Alumínio; Ca²⁺: cálcio; Mg²⁺: magnésio; K⁺: potássio; H+Al: acidez potencial; P: fósforo; SB: soma de bases trocáveis; CTC: capacidade de troca catiônica; V%: saturação por bases; Ctotal: carbono orgânico total e MO: matéria orgânica. ^{ns}, ^{**} e ^{*} = não significativo, significativo a p ≤ 0,01 e a p ≤ 0,05, respectivamente pelo teste F. CV: coeficiente de variação.

APÊNDICE C. Resumo da análise de variância para a densidade do solo (Ds), macroporosidade (Ma), microporosidade (Mi) e porosidade total (PT), avaliados após a colheita da soja 2019-2020, cultivada em sistemas de renovação de pastagem, em Batayporã, MS (2020).

Fonte de variação	Quadrado Médio (Profundidade 0 - 10 cm)				
	GL	Ds g cm ⁻³	Ma %	Mi %	PT %
Blocos	3	0,02	53,77	2,84	34,58
Sistemas	7	0,01 ^{ns}	48,85 ^{ns}	6,86 ^{ns}	31,93 ^{ns}
Resíduo	21	0,01	25,93	8,06	12,21
Total	31	-	-	-	-
Média	-	1,42	17,00	25,74	42,80
CV (%)	-	6,01	29,96	11,03	8,16
Fonte de variação	Quadrado Médio (Profundidade 10 - 20 cm)				
	GL	Ds g cm ⁻³	Ma %	Mi %	PT %
Blocos	3	0,00	10,82	2,03	8,59
Sistemas	7	0,01 ^{**}	20,37 ^{**}	2,17 ^{ns}	17,65 ^{**}
Resíduo	21	0,00	5,04	3,00	3,58
Total	31	-	-	-	-
Média	-	1,60	9,38	24,53	33,91
CV (%)	-	2,16	23,93	7,06	5,58
Fonte de variação	Quadrado Médio (Profundidade 20 - 30 cm)				
	GL	Ds g cm ⁻³	Ma %	Mi %	PT %
Blocos/Locais	3	0,00	6,11	3,03	2,91
Sistemas (S)	7	0,00 ^{ns}	4,48 ^{ns}	1,08 ^{ns}	3,44 ^{ns}
Resíduo	21	0,00	3,51	1,08	4,38
Total	31	-	-	-	-
Média	-	1,63	7,63	25,00	32,63
CV (%)	-	3,38	24,54	4,16	6,42

^{ns}, ^{**} e ^{*} = não significativo, significativo a $p \leq 0,01$ e a $p \leq 0,05$, respectivamente pelo teste F. CV: coeficiente de variação.

APÊNDICE D. Resumo da análise de variância para a densidade do solo (Ds), macroporosidade (Ma), microporosidade (Mi) e porosidade total (PT), avaliados após a colheita da soja 2019-2020, cultivada em sistemas de renovação de pastagem, em Vicentina, MS (2020).

Fonte de variação	Quadrado Médio (Profundidade 0 - 10 cm)				
	GL	Ds g cm ⁻³	Ma %	Mi %	PT %
Blocos	3	0,00	3,25	1,29	3,10
Sistemas	7	0,01 ^{ns}	39,59 ^{ns}	24,74 ^{ns}	10,40 ^{ns}
Resíduo	21	0,01	22,41	11,15	6,51
Total	31	-	-	-	-
Média	-	1,52	19,94	20,48	44,42
CV (%)	-	4,74	23,74	16,31	6,31
Fonte de variação	Quadrado Médio (Profundidade 10 - 20 cm)				
	GL	Ds g cm ⁻³	Ma %	Mi %	PT %
Blocos	3	0,00	9,82	1,66	4,90
Sistemas	7	0,00 ^{**}	12,52 [*]	2,11 ^{ns}	8,47 ^{**}
Resíduo	21	0,00	4,06	1,50	2,21
Total	31	-	-	-	-
Média	-	1,58	19,50	18,18	37,67
CV (%)	-	1,94	10,34	6,74	3,95
Fonte de variação	Quadrado Médio (Profundidade 20 - 30 cm)				
	GL	Ds g cm ⁻³	Ma %	Mi %	PT %
Blocos/Locais	3	0,00	1,29	0,66	0,83
Sistemas (S)	7	0,01 ^{ns}	21,74 [*]	6,32 ^{ns}	6,83 ^{ns}
Resíduo	21	0,04	8,71	1,97	4,83
Total	31	-	-	-	-
Média	-	1,56	19,60	17,58	37,18
CV (%)	-	4,40	15,06	7,98	5,91

^{ns}, ^{**} e ^{*} = não significativo, significativo a $p \leq 0,01$ e a $p \leq 0,05$, respectivamente pelo teste F. CV: coeficiente de variação.

APÊNDICE E. Resumo da análise de variância para a atividade das enzimas β -glucosidase, Arilsulfatase e fosfatase ácida no solo, avaliadas após a colheita da soja 2019-2020, cultivada em sistemas de renovação de pastagem, em Batayporã, MS (2020).

Fonte de variação	Quadrado Médio			
	GL	β -glucosidase	Arilsulfatase	Fosfatase ácida
(mg p-nitrofenol kg ⁻¹ de solo h ⁻¹)				
Blocos	3	37,92	33,22	9014,17
Sistemas	7	187,44**	419,03 ^{ns}	13748,03*
Resíduo	21	32,53	298,05	4150,19
Total	31	-	-	-
Média	-	73,10	104,46	420,80
CV (%)	-	7,80	16,53	15,31

^{ns}, ** e * = não significativo, significativo a $p \leq 0,01$ e a $p \leq 0,05$, respectivamente pelo teste F. CV: coeficiente de variação.

APÊNDICE F. Resumo da análise de variância para a atividade das enzimas β -glucosidase, Arilsulfatase e fosfatase ácida no solo, avaliadas após a colheita da soja 2019-2020, cultivada em sistemas de renovação de pastagem, em Vicentina, MS (2020).

Fonte de variação	Quadrado Médio			
	GL	β -glucosidase	Arilsulfatase	Fosfatase ácida
		(mg p-nitrofenol kg ⁻¹ de solo h ⁻¹)		
Blocos	3	38,35	169,75	1980,26
Sistemas	7	72,28 ^{**}	332,79 [*]	3262,23 [*]
Resíduo	21	18,87	115,41	1214,85
Total	31	-	-	-
Média	-	30,31	42,55	177,75
CV (%)	-	14,33	25,26	19,61

^{ns}, ^{**} e ^{*} = não significativo, significativo a $p \leq 0,01$ e a $p \leq 0,05$, respectivamente pelo teste F. CV: coeficiente de variação.

APÊNDICE G. Resumo da análise de variância para o carbono da biomassa microbiana do solo (C-BMS), atividade microbiana do solo (C-CO₂), quociente metabólico (*q*C-CO₂) e quociente microbiano (*q*MIC), avaliados na semeadura e florescimento da soja na safra 2019-2020, em sistemas de renovação de pastagem, em Batayporã, MS (2020).

Quadrado Médio					
Semeadura					
Fonte de variação	GL	C-BMS ($\mu\text{g C g}^{-1}$ solo seco)	C-CO ₂ ($\mu\text{g C-CO}_2 \text{ g}^{-1}$ solo dia ⁻¹)	<i>q</i> C-CO ₂ ($\mu\text{g C-CO}_2 \mu\text{g}^{-1}$ C-BMS h ⁻¹)	<i>q</i> MIC
Blocos	3	2202,36	7,82	80,12	0,14
Sistemas	7	3457,88 ^{ns}	22,29*	116,19 ^{ns}	0,11 ^{ns}
Resíduo	21	1823,27	6,69	167,57	0,14
Total	31	-	-	-	-
Média	-	213,23	12,51	28,69	1,61
CV (%)	-	20,03	20,69	45,12	23,51
Quadrado Médio					
Florescimento da soja					
Fonte de variação	GL	C-BMS ($\mu\text{g C g}^{-1}$ solo seco)	C-CO ₂ ($\mu\text{g C-CO}_2 \text{ g}^{-1}$ solo dia ⁻¹)	<i>q</i> C-CO ₂ ($\mu\text{g C-CO}_2 \mu\text{g}^{-1}$ C-BMS h ⁻¹)	<i>q</i> MIC
Blocos	3	541,23	2,12	38,37	0,13
Sistemas	7	3669,11 ^{**}	18,19*	26,92 ^{ns}	0,30 ^{**}
Resíduo	21	729,17	7,16	40,33	0,08
Total	31	-	-	-	-
Média	-	217,65	18,59	36,86	1,74
CV (%)	-	12,41	14,39	17,23	16,47

^{ns}, ^{**} e ^{*} = não significativo, significativo a $p \leq 0,01$ e a $p \leq 0,05$, respectivamente pelo teste F. CV: coeficiente de variação.

APÊNDICE H. Resumo da análise de variância para o carbono da biomassa microbiana do solo (C-BMS), atividade microbiana do solo (C-CO₂), quociente metabólico (*q*C-CO₂) e quociente microbiano (*q*MIC), avaliados na semeadura e florescimento da soja na safra 2019-2020, em sistemas de renovação de pastagem, em Vicentina, MS (2020).

Quadrado Médio					
Semeadura					
Fonte de variação	GL	C-BMS ($\mu\text{g C g}^{-1}$ solo seco)	C-CO ₂ ($\mu\text{g C-CO}_2 \text{ g}^{-1}$ solo dia ⁻¹)	<i>q</i> C-CO ₂ ($\mu\text{g C-CO}_2 \mu\text{g}^{-1}$ C-BMS h ⁻¹)	<i>q</i> MIC
Blocos	3	778,46	0,45	19,49	0,11
Sistemas	7	5038,56**	5,71**	97,53**	0,35**
Resíduo	21	367,15	1,04	11,90	0,09
Total	31	-	-	-	-
Média	-	133,40	6,26	21,01	1,46
CV (%)	-	14,36	16,26	16,40	20,77

Quadrado Médio					
Florescimento da soja					
Fonte de variação	GL	C-BMS ($\mu\text{g C g}^{-1}$ solo seco)	C-CO ₂ ($\mu\text{g C-CO}_2 \text{ g}^{-1}$ solo dia ⁻¹)	<i>q</i> C-CO ₂ ($\mu\text{g C-CO}_2 \mu\text{g}^{-1}$ C-BMS h ⁻¹)	<i>q</i> MIC
Blocos	3	1044,63	3,82	1,05	0,01
Sistemas	7	8146,46**	24,86**	11,52*	0,94**
Resíduo	21	981,55	1,61	3,19	0,17
Total	31	-	-	-	-
Média	-	128,92	8,19	15,93	1,41
CV (%)	-	24,30	15,50	11,21	29,28

ns, ** e * = não significativo, significativo a $p \leq 0,01$ e a $p \leq 0,05$, respectivamente pelo teste F. CV: coeficiente de variação.

APÊNDICE I. Resumo da análise de variância para a altura de plantas (AP), número de vagens por planta (NVPP), número de grãos por planta (NGPP), massa de cem grãos (MCG) e produtividade de grãos (PROD), da soja cultivada sobre sistemas de renovação de pastagem na safra 2019-2020, em Batayporã, MS (2020).

Batayporã (textura média)						
Quadrado Médio						
Fonte de variação	GL	AP (cm)	NVPP (vagens)	NGPP (grãos)	MCG (g)	PROD (kg ha ⁻¹)
Blocos	3	11,24	4,21	28,17	0,58	34233,65
Sistemas	6	69,37*	35,24*	301,28*	2,02*	517995,98**
Resíduo	18	19,32	13,57	107,00	0,61	66391,07
Total	27	-	-	-	-	-
Média	-	105,29	42,05	126,90	15,90	4170,82
CV (%)	-	4,17	8,76	8,15	4,91	6,18

^{ns}, ** e * = não significativo, significativo a $p \leq 0,01$ e a $p \leq 0,05$, respectivamente pelo teste F. CV: coeficiente de variação.

APÊNDICE J. Resumo da análise de variância para a altura de plantas (AP), número de vagens por planta (NVPP), número de grãos por planta (NGPP), massa de cem grãos (MCG) e produtividade de grãos (PROD), da soja cultivada sobre sistemas de renovação de pastagem na safra 2019-2020, em Vicentina, MS (2020).

Fonte de variação	GL	Quadrado Médio				
		AP (cm)	NVPP (vagens)	NGPP (grãos)	MCG (g)	PROD (kg ha ⁻¹)
Blocos	3	16,51	42,79	322,90	0,28	193947,10
Sistemas	6	47,20 ^{ns}	181,66 ^{ns}	1764,89*	0,69*	1030959,45**
Resíduo	18	21,57	64,04	563,92	0,22	76497,93
Total	27	-	-	-	-	-
Média	-	70,96	37,96	113,40	10,79	2562,79
CV (%)	-	6,54	21,08	20,94	4,32	10,79

^{ns}, ** e * = não significativo, significativo a $p \leq 0,01$ e a $p \leq 0,05$, respectivamente pelo teste F. CV: coeficiente de variação.