

UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS

**DESEMPENHO AGRONÔMICO DA SOJA E QUALIDADE
DO SOLO SOB ROTAÇÃO E SUCESSÃO DE CULTURAS
EM PLANTIO DIRETO**

NOELIA BENITEZ VARGAS

**DOURADOS
MATO GROSSO DO SUL
2023**

**DESEMPENHO AGRONÔMICO DA SOJA E QUALIDADE DO
SOLO SOB ROTAÇÃO E SUCESSÃO DE CULTURAS EM
PLANTIO DIRETO**

NOELIA BENITEZ VARGAS
Bacharel em Agronomia

Orientador: PROF. DR. LUIZ CARLOS FERREIRA DE SOUZA

Dissertação 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 Mestre.

DOURADOS
MATO GROSSO DO SUL
2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP).

V297d Vargas, Noelia Benitez
DESEMPENHO AGRONÔMICO DA SOJA E QUALIDADE DO SOLO SOB ROTAÇÃO E
SUCESSÃO DE CULTURAS EM PLANTIO DIRETO [recurso eletrônico] / Noelia Benitez
Vargas. -- 2023.
Arquivo em formato pdf.

Orientador: Luiz Carlos Ferreira de Souza.
Dissertação (Mestrado em Agronomia)-Universidade Federal da Grande Dourados, 2023.
Disponível no Repositório Institucional da UFGD em:
<https://portal.ufgd.edu.br/setor/biblioteca/repositorio>

1. rotação de culturas. 2. plantas de cobertura. 3. Glycine max. 4. sistemas de produção. I.
Souza, Luiz Carlos Ferreira De. 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.

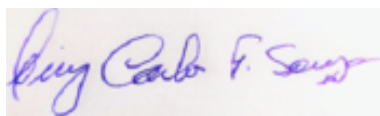
**DESEMPENHO AGRONÔMICO DA SOJA E QUALIDADE DO SOLO SOB
ROTAÇÃO E SUCESSÃO DE CULTURAS EM PLANTIO DIRETO**

por

Noelia Benitez Vargas

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

Aprovada em: 23/02/2023



Dr. Luiz Carlos Ferreira de Souza
Orientador/Presidente-UFGD



Dr^a. Iêda Carvalho Mendes
Membro Titular-EMBRAPA

Documento assinado digitalmente



MICHELY TOMAZI

Data: 07/03/2023 12:38:09-0300

Verifique em <https://verificador.iti.br>

Dr^a. Michely Tomazi
Membro Titular-EMBRAPA

Documento assinado digitalmente



ALESSANDRA MAYUMI TOKURA ALOVISI

Data: 02/03/2023 17:47:10-0300

Verifique em <https://verificador.iti.br>

Dr^a. Alessandra Mayumi Tokura Alovisei
Membro Titular-UFGD

A Deus, que me garantiu sabedoria para concluir este trabalho

Aos meus pais Severiano Vargas e Valentina Benitez

que me deram forças para esta empreitada.

Ao Augusto Laverde Munaro, pelo apoio e companheirismo.

DEDICO

“Talvez não tenha conseguido fazer o melhor, mas lutei para que o melhor fosse feito. Não sou o que deveria ser, mas Graças a Deus, não sou o que era antes.”
Marthin Luther King.

AGRADECIMENTOS

À Deus por me conceder saúde, força e me guiar nesta jornada.

Aos meus pais, pelo amor, incentivo e apoio incondicional. À minha família que sempre se fez presente na minha vida, que me apoiou e orou por mim.

Ao Augusto Laverde Munaro, por todo carinho e que durante essa jornada sempre esteve ao meu lado, me apoiando, ajudando e incentivando incondicionalmente.

À Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD), por proporcionar os recursos e estrutura para concretizar este trabalho.

Ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia, pela oportunidade de realizar o curso de Mestrado.

Ao Prof. Dr. Luiz Carlos Ferreira de Souza, pela ótima orientação, paciência, dedicação, competência e apoio. Principalmente por acreditar na minha capacidade, agradeço imensamente por todos os ensinamentos transmitidos durante esse tempo.

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

À Fundação Meridional e a empresa KWS pela doação das sementes.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa.

Aos membros das bancas de qualificação e defesa pelas valiosas contribuições.

SUMÁRIO

	PÁGINA
RESUMO	ix
ABSTRACT	x
1. INTRODUÇÃO	11
2. REVISÃO DE LITERATURA	13
2.1 Sistema de plantio direto	13
2.2 Culturas antecessoras	14
2.3 Bioindicadores da qualidade do solo	17
3. MATERIAL E MÉTODOS	22
3.1 Local do experimento	22
3.2 Dados climáticos	22
3.3 Delineamento experimental e tratamentos	24
3.4 Instalação e condução	26
3.4.1 Culturas de outono inverno	26
3.4.2 Culturas de verão	27
3.5 Análise química	28
3.6 Bioanálise do solo	29
3.7 Análise estatística	29
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	30
4.1 Massa seca das culturas de outono-inverno	30
4.2 Características agronômicas da soja (safra 2021/2022)	35
4.3 Massa de mil grãos e Produtividade	36
4.4 Palhada remanescente das culturas após a colheita da soja	38
4.5 Atributos químicos	41
4.6 Bioanálise de solo	43
5. CONCLUSÕES	48
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	49
ANEXOS	58

DESEMPENHO AGRONÔMICO DA SOJA E QUALIDADE DO SOLO SOB ROTAÇÃO E SUCESSÃO DE CULTURAS EM PLANTIO DIRETO

RESUMO

Na tentativa de reduzir os impactos ambientais do cultivo agrícola e buscando a sustentabilidade destes, a adoção de sistemas de manejo como o Sistema de Plantio Direto, são o caminho para a obtenção de solos biologicamente ativos e consequentemente mais produtivos e resilientes. Objetivou-se estudar os efeitos de diferentes espécies em sistemas de rotação e sucessão de culturas no desempenho agronômico da soja e avaliar os índices de qualidade do solo em plantio direto. A pesquisa foi realizada na Fazenda Experimental da Faculdade de Ciências Agrárias da UFGD, Dourados, MS e desenvolveu-se nas safras outono-inverno de 2021 finalizando na safra outono-inverno do ano de 2022, totalizando uma safra de verão e duas de outono-inverno, sendo conduzido em delineamento em blocos casualizados com onze tratamentos e quatro repetições. Os tratamentos corresponderam a sequência de culturas de outono-inverno em cada ano: 2021/ pousio; milho; milho/braquiária; sorgo; braquiária/trigo mourisco; *Crotalaria ochroleuca*/braquiária; aveia preta; *Crotalaria ochroleuca*/milheto/trigo mourisco/braquiária; níger; ervilhaca; nabo forrageiro. 2022/ pousio; milho; milho/braquiária; sorgo; trigo; cartamo; *Crotalaria ochroleuca*/milheto/trigo mourico/braquiária; *Crotalaria spectabilis*; nabo forrageiro/aveia/trigo mourisco/níger; braquiária/trigo mourisco; *Crotalaria spectabilis*/trigo mourisco/milheto. A soja foi semeada no verão na safra 2021/2022. Foram avaliadas a quantidade de massa seca das culturas de outono-inverno, na ocasião da colheita de soja avaliou-se: altura de plantas, altura de inserção de primeira vagem, número de ramificações por planta, número de vagens por planta, massa de mil grãos e produtividade, foram avaliadas palhada remanescente da soja, qualidade química e os níveis de atividade das enzimas β -glicosidase e arilsulfatase. As comparações das médias foram feitas pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. Os sistemas com rotação de culturas proporcionaram maiores produtividades à cultura da soja. Nas safras de outono-inverno de 2021 e 2022 os sistemas tanto de rotação como sucessão de culturas produziram quantidades de matéria seca abaixo do recomendado para o sistema plantio direto. As enzimas demonstram que as práticas de manejo utilizadas na área ao longo do tempo proporcionaram melhorias na qualidade química e biológica do solo.

Palavras-chave: rotação de culturas, plantas de cobertura, *Glycine max*, sistemas de produção.

AGRONOMIC PERFORMANCE OF SOYBEAN AND SOIL QUALITY UNDER ROTATION AND SUCCESSION OF CROPS UNDER NO-TILL

ABSTRACT

In an attempt to reduce the environmental impacts of agricultural cultivation and seeking their sustainability, the adoption of management systems such as the Direct Planting System are the way to obtain biologically active soils and, consequently, more productive and resilient soils. The objective was to study the effects of different species in crop rotation and succession systems on the agronomic performance of soybeans and to evaluate soil quality indices under no-tillage. The research was carried out at the Experimental Farm of the Faculty of Agricultural Sciences of UFGD, Dourados, MS and was carried out in the 2021 autumn-winter harvests, ending in the 2022 autumn-winter harvest, totaling one summer harvest and two autumn-winter harvests. winter, being conducted in a randomized block design with eleven treatments and four replications. The treatments corresponded to the sequence of autumn-winter crops in each year: 2021/ fallow; corn; corn/brachiaria; sorghum; brachiaria/buckwheat; *Crotalaria ochroleuca*/Brachiaria; black oats; *Crotalaria ochroleuca*/millet/buckwheat/brachiaria; Niger; vetch; forage turnip. 2022/ fallow; corn; corn/brachiaria; sorghum; wheat; safflower; *Crotalaria ochroleuca*/millet/buckwheat/brachiaria; *Crotalaria spectabilis*; fodder radish/oats/buckwheat/niger; brachiaria/buckwheat; *Crotalaria spectabilis*/buckwheat/millet. Soy was sown in the summer in the 2021/2022 harvest. The amount of dry mass of autumn-winter crops was evaluated at the time of soybean harvest: plant height, first pod insertion height, number of branches per plant, number of pods per plant, mass of one thousand grains and productivity, remaining soybean straw, chemical quality and activity levels of β -glucosidase and arylsulfatase enzymes were evaluated. Comparisons of means were performed using the Scott-Knott test at 5% probability. The systems with crop rotation provided higher yields for the soybean crop. In the 2021 and 2022 autumn-winter harvests, both rotation and crop succession systems produced amounts of dry matter below the recommended for the no-tillage system. The enzymes demonstrate that the management practices used in the area over time provided improvements in the chemical and biological quality of the soil.

Key-words: crop rotation, cover crops, *Glycine max*, production systems.

1. INTRODUÇÃO

A agricultura é uma das atividades de maior importância para a economia brasileira, devido à crescente demanda por alimentos. O Brasil é um dos maiores produtores de alimentos e figura atualmente como o maior produtor de soja do mundo (USDA, 2020). Na safra 2021/2022 foram produzidas aproximadamente 272,5 milhões de toneladas de grãos, destacando-se as culturas de milho e soja, responsáveis por 90% do total produzido. O estado de Mato Grosso do Sul é atualmente o quinto maior produtor de grãos do país, responsável por 8,2% da produção nacional de grãos (CONAB, 2022).

Segundo a Conab (2022) a soja é um produto com forte liquidez, que tem proporcionado um quadro de suporte dos preços no âmbito interno, reforçando a aposta anual dos produtores no incremento de área para esse produto, deste modo, é justificável a busca por culturas que possam ser inseridas na segunda safra e que proporcionem aumento de produtividade de grãos de soja juntamente com a sustentabilidade do solo e sistema produtivo como um todo.

Nos últimos anos, tem se buscado o aumento da produtividade de forma mais sustentável, principalmente em regiões tropicais e subtropicais. No entanto, a sucessão soja/milho safrinha prática muito utilizada na agricultura brasileira, tem provocado a deterioração da qualidade dos solos, ocasionado a incidência de doenças, pragas e plantas daninhas. Nesse contexto, a utilização de sistemas conservacionistas de produção tem o intuito de auxiliar na fertilidade do solo, alterando minimamente a sua estrutura e a biodiversidade, por meio da introdução de princípios, como: mínimo revolvimento mecânico do solo, rotação de culturas e adoção de coberturas vegetais, por meio do Sistema Plantio Direto (SPD) (ARATANI et al., 2018). Reduzindo os impactos ambientais do cultivo agrícola e buscando a sustentabilidade destes, tanto do ponto de vista ambiental quanto econômico.

O SPD tem apresentado resultados sólidos na busca por aumento de produtividade, associado a rotação de culturas e a manutenção de cobertura do solo, que são de grande importância para as culturas em sucessão, pois favorecem a fertilidade do solo pela decomposição da matéria orgânica, aumentam a ciclagem e disponibilidade de nutrientes na solução do solo, melhoram a atividade biológica, além de aumentar a retenção de água no solo e auxiliar no combate a erosões (SILVA et al., 2017).

Porém, um dos principais desafios do SPD é a escolha das espécies a serem utilizadas nos sistemas de rotação, principalmente no que diz respeito à velocidade de

liberação de nutrientes da palha e persistência do material vegetal depositado sobre o solo. As culturas devem produzir palhada em quantidade suficiente para manter o solo sempre coberto. Além da quantidade é necessário levar em conta a qualidade da biomassa e seus efeitos na cultura em sucessão (ENSINAS et al., 2016).

A utilização da rotação de culturas além dos vários benefícios, tem papel importante na elevação do teor de matéria orgânica, que é um dos componentes fundamentais do solo e está ligada a várias funções importantes, constituindo-se como um elemento essencial da produtividade dos solos (MARTINEZ-SALGADO et al., 2010; CECAGNO, 2015). Portanto, é o principal meio de aquisição de energia e nutrientes para a atividade e diversidade microbiana, através da respiração, promovendo a conservação e aumento de microrganismos benéficos ao solo (LOURENTE et al., 2010; MAIA & PARRON, 2015).

As propriedades biológicas e bioquímicas do solo, como a atividade enzimática e a biomassa microbiana, são indicadores que podem ser utilizados para avaliar os efeitos do Sistema de Plantio Direto na qualidade do solo, decomposição da matéria orgânica e da disponibilidade de nutrientes. Por estarem associados aos componentes vivos do solo, esses bioindicadores são mais sensíveis para detectar, de forma mais rápida, as alterações que ocorrem no solo, decorrente das práticas de manejo.

A adoção de sistemas de manejo como o Sistema de Plantio Direto, prática que favorece a saúde do solo, constitui um dos caminhos para a obtenção de solos biologicamente ativos e conseqüentemente mais produtivos e resilientes (MENDES et al. 2021). Nesse sentido, é evidente a importância da adoção desse sistema que tem por objetivo a melhoria e a manutenção das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo. Assim todos saem ganhando, o agricultor, a sociedade e o meio-ambiente (MENDES et al. 2021).

Em razão desses argumentos e informações expostas e considerando que a soja é uma cultura de grande importância, e com o intuito de realizar uma boa rotação de culturas buscando opções de plantas que podem ser inseridas nestes sistemas na safra outono-inverno, o objetivo do presente trabalho foi estudar os efeitos de diferentes espécies em sistemas de rotação de culturas no desempenho agrônômico da soja e avaliar os índices de qualidade do solo no sistema plantio direto.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Sistema plantio direto

Nos últimos tempos, tem aumentado a preocupação com os sistemas de manejo, fazendo com que a sustentabilidade torna-se uma exigência aos sistemas produtivos, que precisam se adequar para que haja um aumento na produtividade por área, adotando práticas de manejo que viabilizem a preservação do meio ambiente de maneira geral. Diante disto, o sistema de plantio direto (SPD) é uma ferramenta de grande importância no que diz respeito a recuperação, sustentabilidade e aumento da capacidade produtiva dos solos (TORRES et al., 2015).

A implantação do sistema de plantio direto na agricultura brasileira ocorreu por volta de 1970, na região do Paraná. Intensificando-se em meados da década de 90, principalmente na região sul e na região do Cerrado, como tentativa de minimizar os problemas causados pelo plantio convencional e com o intuito de auxiliar na fertilidade do solo (ARATANI et al., 2018). A falta de alternativas de plantas de cobertura que tolerassem as condições edafoclimáticas do outono-inverno dificultou a implantação desse sistema na região do Cerrado, além da baixa produção de matéria seca e sua acelerada decomposição (SECRETI, 2017).

Nas regiões tropicais ocorre menor acúmulo de carbono do que em regiões de clima temperado, devido a decomposição da matéria orgânica do solo (COSTA et al., 2015), sendo necessários o uso de culturas que proporcionem boa cobertura de solo. Porém, a escolha dessas espécies tem sido um grande desafio, levando em consideração o clima e solo de cada região (ANDRIOLI, 2004).

O sistema de plantio direto tem como preceitos básicos a ausência de revolvimento do solo, sua cobertura permanente e a rotação de culturas é uma opção técnica e econômica para mitigar a degradação promovida pelo sistema intensivo de manejo, proporcionando melhorias nas propriedades químico-físicas do solo e também na conservação da água e da matéria orgânica por períodos mais longos, consequentemente propiciando condições favoráveis para o aumento da capacidade produtiva do solo e das culturas (FAGUNDES et al., 2019).

Esse sistema, além de ser uma técnica sustentável, ainda tem papel importante no sequestro de carbono, incrementa a biodiversidade e contribuir positivamente para o ciclo hidrológico. Essa técnica vem sendo amplamente difundida por não degradar o solo, e

manter a qualidade da área para culturas subsequentes (SECRETI, 2017). Além disso, esse sistema de cultivo pode ser ajustado a qualquer ecossistema, permitindo a introdução de novas culturas em uma mesma área, por meio da rotação de culturas que contribui para melhorias na saúde do solo (MOTTER et al., 2015).

Para que o SPD se torne um sistema viável e que funcione tanto economicamente como ambientalmente é necessário que ele funcione na forma de um sistema. Esse sistema deve trabalhar de maneira com que seja feita a rotação de culturas, diversificando as espécies vegetais, deve ser realizada a manutenção da palhada, mantendo a cobertura permanente do solo, evitando a competição com outras espécies de plantas invasoras e principalmente, reduzindo a mobilização do solo (DEBIASI et al., 2013).

Uma das principais premissas do SPD é a rotação de culturas que consiste na alternância ordenada, cíclica e sazonal de plantas de diferentes espécies vegetais e que exploram o solo de maneira diferente, influenciando positivamente no teor de matéria orgânica do solo (HIRAKURI et al., 2012). O cultivo de espécies com sistema radicular vigoroso e que tenham bom aporte de matéria seca, pode alterar os atributos químico, físico e biológicos do solo. Porém, isso irá depender do tempo e do número de cultivo por ano e das espécies cultivadas (STONE & SILVEIRA, 2001).

A manutenção do teor de matéria orgânica na camada superficial do solo é resultado do acúmulo de resíduos vegetais deixados pelo não revolvimento do solo no sistema plantio direto que conseqüentemente causa aumento na atividade biológica e modificações na ciclagem dos nutrientes (LARA CABEZAS et al., 2000; CAMPOS, 2004). Os principais benefícios desse sistema são: aumento do teor de matéria orgânica, proteção contra a erosão, diminuição do impacto da chuva e armazenamento da umidade e controle das plantas infestantes, através do efeito alelopáticos e por impedir que o solo fique descoberto (GUIA RURAL, 1991).

Diversas são as opções de culturas para a cobertura de solo nas diversas regiões do país, que são alternativas para o sistema de rotação de culturas com soja/milho. Todavia é necessário escolher quais as culturas mais indicadas para cada situação, do ponto de vista técnico e econômico.

2.2 Culturas antecessoras

Existem ainda poucas pesquisas que proporcionem ao agricultor conhecimentos sobre quais as melhores espécies a serem inseridas no sistema de rotação de culturas que

promovam melhorias das condições de sua lavoura. Uma boa alternativa são as plantas de cobertura, que tem importância fundamental na recuperação da capacidade produtiva do solo.

A utilização de culturas de outono-inverno é importante para a qualidade física do solo, tanto na proteção da superfície quanto no aporte de fitomassa proveniente da parte aérea e raízes (SOUZA et al., 2014). As espécies devem apresentar bom desenvolvimento inicial, sistema radicular profundo, produção de massa em quantidades suficientes para uma boa cobertura de solo, baixa decomposição e boa relação C/N que irá beneficiar as culturas sucessoras (FERNANDES et al., 1999; SOUZA et al., 2013). Esse conjunto de benefícios da rotação de culturas pode trazer consequentemente um maior incremento na produtividade das culturas e contribuirá na racionalização do uso de insumos.

Segundo Santos et al., (2008), as principais plantas de cobertura utilizadas na rotação de culturas pertencem a família das *Fabaceae* e *Poaceae*, sendo que as plantas da família das *Fabaceae* favorecem maior densidade relativa de microrganismos do solo, e as gramíneas favorecem os grupos da serrapilheira.

As espécies pertencentes a família das *Fabaceae* tem capacidade de formarem associações simbióticas com bactérias fixadoras de N₂. Consequentemente, há grande quantidade desse nutriente disponível para as culturas após o manejo das leguminosas, o que pode representar contribuições consideráveis à viabilidade econômica e à sustentabilidade dos sistemas de produção por reduzirem a necessidade de adubos nitrogenados sintéticos (CANALLI & BORDIN, 2019).

Espécies como aveia branca (*Avena sativa*), nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L. var. *oleiferus*), crotalária (*Crotalaria spectabilis*) e ervilhaca peluda (*Vicia villosa*) proporcionam benefícios ao sistema produtivo quando são inseridas na rotação com culturas como soja e milho por serem importantes na reciclagem de nutrientes que são disponibilizados para as culturas sucessoras (CORTEZ et al., 2008).

O milho tem sido uma ótima opção de cultivo para rotação de culturas em sistema de plantio direto, devido a sua versatilidade e grande produção de fitomassa, tanto no cultivo de verão, quanto no de segunda safra (EMBRAPA, 2009; FRANCHINI et al., 2011). Na rotação de milho com leguminosas, pode se reduzir cerca de 50% da dose de nitrogênio devido a maior disponibilização de N no solo (LOPES et al., 2004).

Na tentativa de aumentar o aporte de palha no solo, sem que a produtividade das culturas produtoras de grãos seja afetada, o uso de espécies forrageiras em consórcio com milho, principalmente, do gênero *Urochloa*, também tem sido muito estudado e utilizado

por agricultores e pesquisadores (MENDONÇA et al., 2015).

O trigo é uma das culturas de inverno de maior importância econômica e vem ganhando espaço principalmente nas regiões sul e Centro Oeste do Brasil, fato este que se tornou possível graças ao desenvolvimento de cultivares adaptadas a essas regiões. Além disso, é uma cultura que tem mostrado como excelente opção a ser inserida no sistema de rotação de culturas, por ser uma planta que proporciona boa cobertura e palhada com persistência maior no solo, graças a sua elevada relação C/N (PILETTI, 2016).

A aveia é utilizada como adubo verde, feno, cobertura do solo e produção de palhada para a realização da semeadura direta de culturas de verão (SUTTIE & REYNOLDS, 2004). Sua viabilidade como cultivo de inverno deve-se aos altos valores nutritivos, potencial produtivo e longevidade de ciclo, além de rápido crescimento inicial (FERRAZZA et al., 2013).

A Crotalária é uma leguminosa subarbuscular de clima tropical, muito utilizadas para adubação verde, devido ao seu crescimento rápido, efeitos alelopáticos, excelente supressor de plantas daninhas, alta produção de biomassa, reciclagem de nutrientes e eficaz na fixação de nitrogênio atmosférico (DOURADO et al., 2001; PEREIRA et al., 2005).

A ervilhaca é uma leguminosa anual de inverno, muito utilizada como adubo verde. É uma planta que apresenta boa cobertura do solo beneficiando culturas de sucessão, como milho, soja, arroz e sorgo. Essa cultura produz em média 2 a 5 Mg ha⁻¹ de massa seca (CALEGARI, 2002). Além disso, a ervilhaca apresenta boa capacidade de fixar nitrogênio atmosférico, favorecendo a próxima cultura e diminuindo os custos com adubação nitrogenada (SEPROTEC, 2011).

O nabo forrageiro é uma planta com alto potencial de ciclagem de nutrientes tem sido uma boa opção para a rotação de culturas, além do bom acúmulo de massa verde e capacidade de descompactação do solo. Produz em média 2 a 5 Mg ha⁻¹ de massa seca (CALEGARI, 2002). Caracteriza-se pelo crescimento inicial rápido, e aos 60 dias após a emergência promove a cobertura de 70% do solo (JARDINE, 2013).

O milheto é uma forrageira com excelente qualidade de silagem, boa cobertura de solo nas áreas de plantio direto e produção de grãos com elevado valor nutritivo, com alta capacidade de rebrota e alto potencial produtivo (BELON et al., 2009). Por possuir características como sistema radicular vigoroso e alta capacidade de absorção de nutrientes, faz com que esta espécie se sobressaia em relação às outras plantas de

cobertura (MARCANTE et al., 2011).

O sorgo é uma excelente opção como cultura de cobertura de inverno e produtora de palhada para o sistema plantio direto (SPD), em razão da sua rusticidade, resistência às condições de déficit hídrico, com elevada capacidade de aproveitamento da água e produção de biomassa (ALBUQUERQUE et al., 2010).

O níger é uma espécie alternativa para produção de óleo e rotação de cultura, sendo uma excelente alternativa para a safra de inverno. No Brasil, os estados de Mato Grosso do Sul, Mato Grosso, São Paulo e Minas Gerais cultivam o níger, que tem mostrado ser uma cultura promissora, por ser uma boa opção para cultivos em rotação com outras culturas durante a segunda safra (GORDIN et al., 2012). A espécie é promissora como adubo verde e para a produção de fitomassa, quando utilizada como cobertura do solo no outono/inverno, proporcionando incrementos de matéria orgânica na área (CARNEIRO et al., 2008).

O trigo mourisco é uma cultura que não possui características de muita exigência nutricional, por isso é de fácil implantação e rápido desenvolvimento inicial, com ciclos que variam de 85 a 110 dias, sendo então uma excelente opção para diversificar o sistema de rotação de culturas durante as janelas de safra (GONÇALVES et al., 2014). É uma boa opção como planta de cobertura, adubação verde, pela sua grande tolerância à acidez e capacidade de utilização de sais de fósforo e potássio pouco solúveis no solo. Além disso, apresenta alta relação C/N, promovendo a reciclagem de nutrientes beneficiando as culturas subsequentes (WENZEL, 2022).

O cártamo é uma espécie que tem ampla adaptabilidade a diferentes condições ambientais, sua altura varia entre 30 e 150 cm, com raízes vigorosas, produz de um a cinco capítulos com coloração amarelada e as sementes possuem teor de óleo entre 30 e 45% (DAJUE; MÜNDEL, 2002; PILETTI, 2016). O cártamo pode ser uma opção a ser inserida no sistema de rotação com soja sem causar prejuízos ao crescimento ou à produtividade da cultura principal (SOUZA et al., 2015).

Existem várias opções de plantas para inserir no sistema de rotação de culturas com soja, porém é necessário buscar espécies que contribuam com o aumento de produtividade e que auxiliem na melhoria na qualidade física, química e biológica do solo.

2.3 Bioindicadores de qualidade do solo

A agricultura sustentável tem como fator principal a manutenção da qualidade do solo, que por sua vez está relacionado a capacidade de funcionamento do mesmo, ou seja, em um ambiente natural ou controlado, ela deve manter a produção biológica, a qualidade do ar e da água, promovendo a saúde de plantas e seres vivos (MENDES, 2018). No entanto, para a produção agrícola a saúde do solo não era vista como fator determinante, porém nos últimos tempos os sistemas de manejo tem buscado por sustentabilidade e, devido a constante degradação dos solos, tem se dado maior relevância a esse tema (MUÑOZ-ROJAS, 2018).

A Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO), em 2015 revelou que boa parte dos solos mundiais se encontra em estado de alta degradação. Um fator preocupante é que com o constante crescimento populacional e buscando condições de vida melhor, há maior exploração de recursos naturais, sem preocupação com o meio ambiente e as causas disso são: as erosões, perda de matéria orgânica do solo, compactação e desbalanço dos nutrientes do solo (LEGAZ et al., 2017).

A qualidade do solo pode ser avaliada por meio de indicadores químicos, físicos e biológicos, entre os principais parâmetros dessa avaliação estão a atividade enzimática e a respiração microbiana, ligados a dinâmica da matéria orgânica (JANUSCKIEWICZ et al., 2019). Estes indicadores são ferramentas fundamentais no acompanhamento da saúde do solo e nos impactos causados nele, que podem ser bons ou ruins, a consequência dos fenômenos naturais ou mesmo aqueles causados pelo homem.

A biomassa microbiana avalia a massa dos microrganismos no solo, que é a parte viva e ativa da matéria orgânica, responsável por inúmeros processos bioquímicos e biológicos do solo (ARAÚJO; MELO, 2012). Assim, ela está relacionada com a decomposição de resíduos orgânicos, ciclagem de nutrientes, conseqüentemente influencia na disponibilidade de nutrientes e carbono no solo (LI et al., 2018). A biomassa microbiana pode ser avaliada pelos teores de carbono, nitrogênio e fósforo que a constituem. Para avaliar a atividade dos microrganismos e a qualidade do solo enzimas associadas aos ciclos desses elementos constituem parâmetros importantes.

Em sua maioria, as enzimas do solo são originadas por microrganismos, para degradar biomoléculas que elas não conseguem absorver de forma direta (SOUZA; CHAER, 2019). Na avaliação do índice de qualidade do solo, as enzimas arilsulfatase e β -glicosidase vem sendo muito utilizadas, levando em consideração a textura e a fertilidade do solo (MENDES et al., 2018).

A enzima arilsulfatase atua na hidrólise de ésteres de sulfato responsável pela

ciclagem de enxofre no solo. Essa enzima é indicadora da degradação dos solos, através dela é possível observar as alterações que ocorrem no conteúdo de matéria orgânica, além de propriedades químicas e físicas (LOPES et al., 2013). A β -glicosidase é uma enzima que atua no processo de decomposição da celulose, através da hidrólise dos resíduos de celobiose, tendo papel fundamental na ciclagem de carbono, influenciando assim na qualidade do solo (PASSOS et al., 2008). Portanto, arilsulfatase e β -glicosidase são enzimas que atuam no solo de forma relacionada com a matéria orgânica, sendo fundamentais para o sistema de manejo (MENDES et al., 2018).

Após anos de pesquisa a Embrapa em 2020 desenvolveu e lançou a tecnologia de Bioanálise do solo (BioAS), que se tornou referência mundial nas avaliações de qualidade biológica do solo, através dos trabalhos realizados na região do Cerrado. Essa tecnologia utiliza os componentes biológicos junto as análises de rotina do solo, analisando as atividades das enzimas arilsulfatase e β -glicosidase. Essas enzimas indicam se o sistema de manejo do solo vem sendo realizada de forma correta, visando também a sustentabilidade. Em caso de que o laudo indicar valores baixos, o sistema de manejo deve ser repensado, buscando adotar práticas de manejo que melhorem a qualidade do solo (MENDES et al., 2022).

Com base em parâmetros químicos e biológicos, a BioAS também envolve cálculos de Índice de Qualidade Química (IQS_{QUIMICO}) e Biológica (IQS_{BIOLOGICO}) do Solo (IQS_{FERTBIO}). Esses índices agregam três funções importantes do solo: (F1) Ciclagem de nutrientes; (F2) Armazenamento de nutrientes; e (F3) Suprimento de nutrientes (Figura 1) (MENDES et al., 2022).

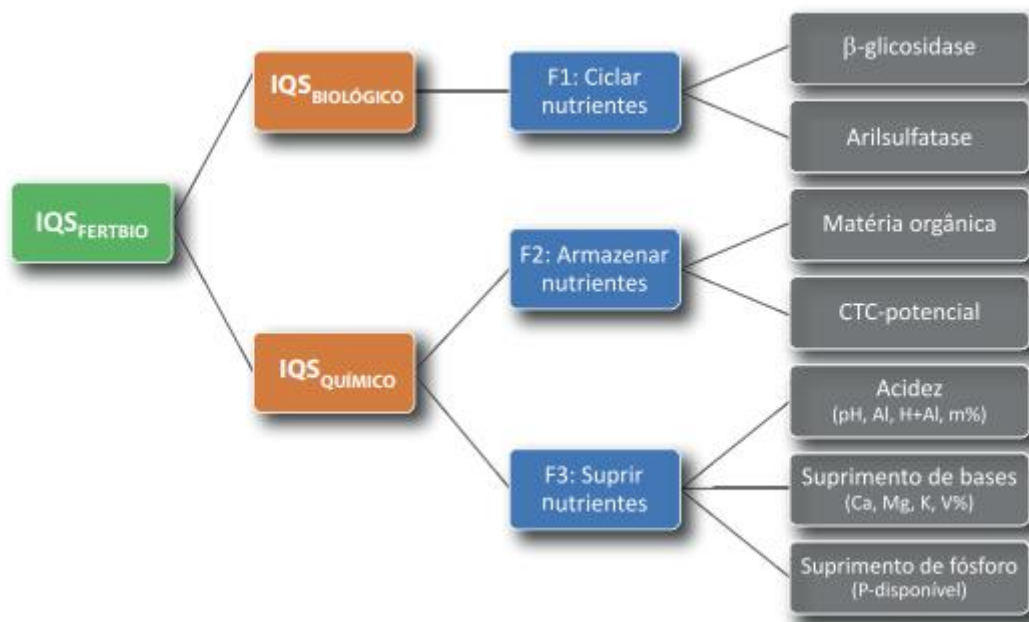
Figura 1. Funções do solo avaliadas na BioAS.

F1: Ciclar nutrientes	Avalia a atividade biológica e os processos derivados dela como a ciclagem de nutrientes e a formação e decomposição da matéria orgânica do solo (MOS)
F2: Armazenar nutrientes	Quantifica o “reservatório” de nutrientes do solo, o qual está principalmente relacionado à textura, qualidade das argilas e ao conteúdo e qualidade da MOS
F3: Suprir nutrientes	Avalia a qualidade do conteúdo do “reservatório” de nutrientes do solo, como sua acidez e capacidade de disponibilizar os principais macronutrientes

Fonte: Adaptado de Mendes et al, Embrapa Cerrados Cerrados, 2021.

A atuação de cada uma dessas funções é calculada por um conjunto de indicadores associados, observado no esquema da Figura 2.

Figura 2. Modelo do IQS_{FERTBIO} , $IQS_{\text{BIOLÓGICO}}$ e $IQS_{\text{QUÍMICO}}$ e suas relações com as funções do solo (F1, F2 e F3) e respectivos indicadores obtidos por meio de análises de solo.



Fonte: Adaptado de Mendes et al, Embrapa Cerrados Cerrados, 2021.

São atribuídas notas para as funções e os índices, que variam de 0 a 1, quanto mais próximo o valor estiver de 1, melhor é a qualidade do solo. Para melhor compreensão essas notas são representadas em uma tabela semafórica, onde verde escuro ou verde claro significa valores adequados (alto e muito alto), amarelo, valores intermediários e laranja ou vermelho, valores inadequados (baixo ou muito baixo) (Figura 3) (MENDES et al., 2022).

Figura 3. Escala de qualidade cromática usada para classificar os índices apresentados no laudo da BioAS.

Classe	Muito Baixo	Baixo	Médio	Alto	Muito Alto
Faixa	0 a 0,20	0,21 a 0,40	0,41 a 0,60	0,61 a 0,80	0,81 a 1,00

Fonte: Mendes, Embrapa Cerrados, 2021.

As enzimas são mais sensíveis que os indicadores químicos e físicos, por isso uma das maiores vantagens da tecnologia BioAS é detectar de forma antecipada as alterações que ocorrem na saúde do solo, em decorrência do seu uso e manejo. Além disso, a BioAs possui outras inúmeras vantagens, como: precisão, coerência, baixa variabilidade

temporal, sensibilidade, esta ligada à ciclagem da matéria orgânica do solo, não sofre influência da aplicação de adubos e utiliza reagentes de baixo custo (MENDES et al., 2019).

O agricultor deve buscar atingir níveis ótimos nas três funções, por meio de um bom manejo de solo e das adubações, atingindo um $IQS_{FERTBIO}$ com valores próximos a um (EMBRAPA, 2020). Portanto, a adoção de sistemas de manejo como o plantio direto, a rotação de culturas e o uso de plantas de cobertura são práticas de manejo capazes de melhorar a saúde dos solos, tanto física, química e biologicamente, tornando-os mais ativos, consequentemente trazendo incrementos na produtividade.

3. MATERIAL E METODOS

3.1 Local do experimento

O experimento foi desenvolvido na Fazenda Experimental da Universidade Federal da Grande Dourados, localizada no município de Dourados, com coordenadas geográficas de latitude 22° 14'S, longitude de 54° 49'W e altitude de 458 metros. O solo predominante na área experimental é o Latossolo Vermelho distroférrico com textura argilosa (SANTOS et al., 2018). O clima local de acordo com a classificação de Koppen e Geiger é Cwa (clima mesotérmico úmido, verões quentes e invernos seco). A precipitação pluviométrica total anual da região é de 1.400 a 1.500 mm e a temperatura média anual por volta dos 24°C (FIETZ & FISCH, 2008).

A área do experimento encontra-se em Sistema de Plantio Direto (SPD) desde 2009, quando foram realizadas todas as correções necessárias para introdução do sistema. O projeto em questão contempla a condução e avaliação do sistema a partir da safra outono-inverno de 2021 (precedidas de soja e milho) finalizando na safra outono-inverno do ano de 2022, totalizando uma safra de verão e duas de outono-inverno.

3.2 Dados climáticos

Os dados climáticos referentes aos valores médios de temperatura máxima e mínima e de precipitação foram obtidos na estação meteorológica da Fazenda Experimental de Ciências Agrárias da UFGD, no município de Dourados, MS, durante os períodos de avaliação do experimento (Figuras 4, 5 e 6).

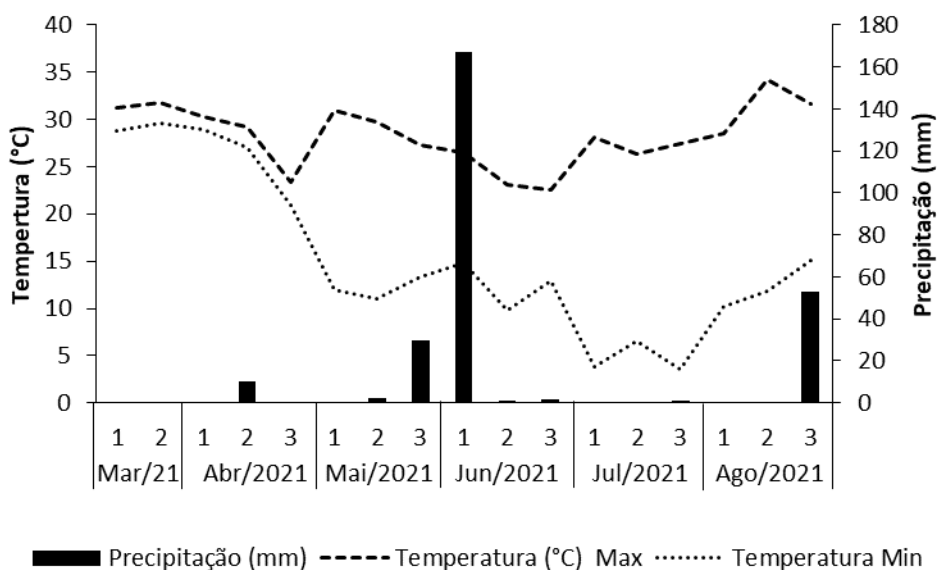


Figura 4. Precipitação pluvial e temperaturas máximas e mínimas por decêndio no período de março a agosto de 2021. Fonte: Estação Meteorológica da UFGD/EMBRAPA. Dourados – MS, 2022.

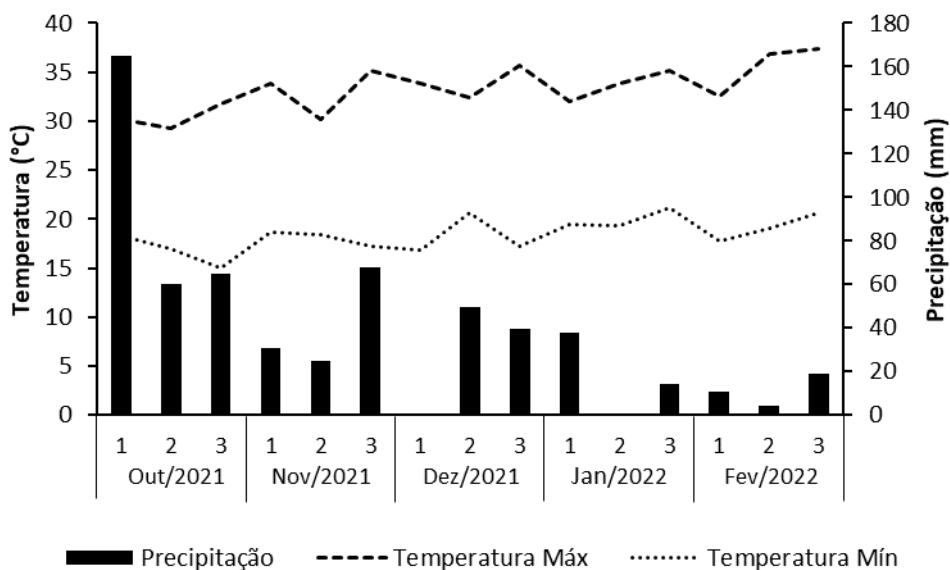


Figura 5. Precipitação pluvial e temperaturas máximas e mínimas por decêndio no período de outubro de 2021 a fevereiro de 2022. Fonte: Estação Meteorológica da UFGD/EMBRAPA. Dourados – MS, 2022.

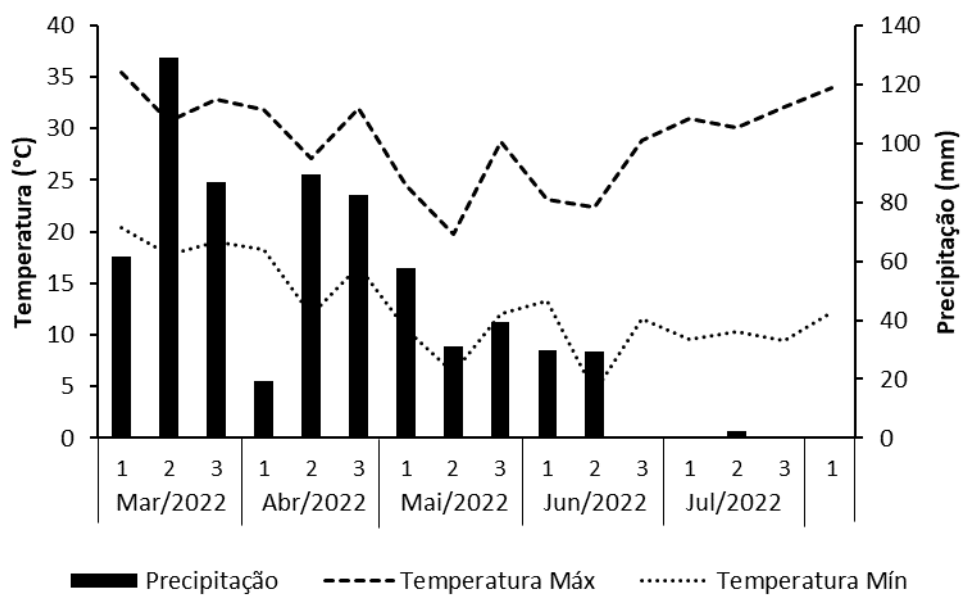


Figura 6. Precipitação pluvial e temperaturas máximas e mínimas por decêndio no período de março a julho de 2022. Fonte: Estação Meteorológica da UFGD/EMBRAPA. Dourados – MS, 2022.

3.3 Delineamento experimental e tratamentos

O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados com onze tratamentos e quatro repetições. Os tratamentos estão apresentados na Tabela 1. Cada unidade experimental possuía 35 m de comprimento por 13 m de largura, totalizando uma área de 455 m².

Tabela 1. Sequência de tratamentos do experimento correspondente a cada ano agrícola. Dourados, MS, 2022.

Verão 2018/2019	Outono/inverno 2019	Verão 2019/2020	Outono/inverno 2020
Soja	Pousio	Soja	Pousio
Soja	Milho	Soja	Milho
Soja	Milho/Braquiária	Soja	Milho/Braquiária
Soja	Sorgo	Soja	Sorgo
Milho	Milheto	Soja	<i>Crotalaria ochroleuca</i>
Milho	<i>Crotalaria ochroleuca</i>	Soja	Milheto/ <i>C.Ochroleuca</i> /Nabo forrageiro
Milho	Milheto/ <i>C.Ochroleuca</i>	Soja	<i>C.Ochroleuca</i> /Milheto/TrigoM/Braquiária
Milho	Aveia preta/Milheto/TrigoM/Ervilhaca	Soja	Milheto
Milho	Aveia branca	Soja	Guandu
Milho	Níger	Soja	<i>Crotalaria Spectabilis</i>
Milho	Ervilhaca	Soja	Nabo forrageiro/Aveia preta/Ervilhaca
Verão 2020/2021	Outono/inverno 2021	Verão 2021/2022	Outono/inverno 2022
Soja	Pousio	Soja	Pousio
Soja	Milho	Soja	Milho
Soja	Milho/Braquiária	Soja	Milho/Braquiária
Soja	Sorgo	Soja	Sorgo
Milho	Braquiária/Trigo Mourisco	Soja	Trigo
Milho	<i>C.Ochroleuca</i> /Braquiária	Soja	Cartamo
Milho	Aveia preta	Soja	<i>C.Ochroleuca</i> /Milheto/TrigoM/Braquiária
Milho	<i>C.Ochroleuca</i> /Milheto/TrigoM/Braquiária	Soja	<i>Crotalaria Spectabilis</i>
Milho	Níger	Soja	Nabo forrageiro/Aveia/TrigoM/Níger
Milho	Ervilhaca	Soja	Braquiária/Trigo Mourisco
Milho	Nabo forrageiro	Soja	<i>C.Spectabilis</i> /Trigo Mourisco/Milheto

As rotações com culturas oleaginosas (nóger e cartamo), grãos (milho, milho + braquiária, sorgo, trigo e aveia), adubos verdes (crotalária, ervilhaca, milheto, trigo mourisco e nabo forrageiro) e braquiária solteira ocorreram no outono-inverno de cada safra agrícola (2021 e 2022) e na safra de verão 2021/2022 houve a semeadura com soja. Foi deixada uma unidade experimental com pousio no outono-inverno e soja no verão. Vale ressaltar que as parcelas com tratamentos de sucessão de culturas sempre são cultivadas com soja no verão, e nos tratamentos com rotação de culturas é cultivado milho no verão no lugar da soja.

3.4 Instalação e condução

3.4.1 Culturas de Outono-Inverno

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

No tratamento com milho foi realizada a semeadura do híbrido simples K9606 VIP3, nos dias 20/03/2021 e 15/03/2022 com uma população de 66.000 mil plantas ha⁻¹, com espaçamento de 0,9 m, utilizando 300 kg ha⁻¹ do formulado 04-14-08 + 0,3% B + 0,3% Zn. No tratamento milho + braquiária foi utilizado o mesmo híbrido de milho usado no cultivo solteiro e nas entrelinhas foi semeada a *Braquiária ruziziensis*.

A semeadura do sorgo, trigo, cartamo, trigo mourisco, crotalária, aveia preta, milheto, nóger, ervilhaca e nabo forrageiro ocorreu nos dias 18/03/2021 e 15/03/2022. Para a semeadura das culturas de outono-inverno, utilizou-se uma semeadora-adubadora com oito linhas, espaçadas entre si em 0,4 m⁻¹. A quantidade média de sementes utilizada foi de 10 sementes m⁻¹ de sorgo da variedade convencional BRS Ponta Negra, 50 sementes m⁻¹ para trigo e aveia preta, para as demais culturas foi utilizada a densidade de 20 sementes m⁻¹.

As culturas de outono-inverno foram manejadas com rolo-faca e posteriormente feita avaliação da biomassa das culturas, realizado por meio do corte das plantas rente ao solo, com duas repetições de 1,0 m² em cada parcela. Nos tratamentos de sucessão

contendo milho, as espigas foram desprezadas para tal análise. As amostras foram levadas para secagem em estufa para determinação da massa seca.

3.4.2 Cultura de Verão

A semeadura da soja foi realizada no dia 06 de outubro de 2021, com a cultivar BRS 1061 IPRO, utilizando-se semeadora-adubadora com sete linhas e densidade média de 12 sementes m^{-1} , com espaçamento de 0,45 m entre linhas.

A adubação de semeadura foi de 300 $kg\ ha^{-1}$ do formulado 04-14-08 + 0,3% de B + 0,3% de Zn. As sementes foram co-inoculadas com 150 ml de inoculante contendo *Bradyrhizobium* e 100 ml contendo *Azospirillum brasiliense*, além de 250 ml de regulador de crescimento a base de cinetina, ácido giberélico e ácido indol-butírico para cada 50 kg de sementes.

O controle de plantas daninhas foi realizado na pré-semeadura da soja com a aplicação de glifosato cerca de 30 dias antes, na dosagem de 3 $L\ ha^{-1}$. Na semana que antecedeu a semeadura da soja aplicou-se 2 $L\ ha^{-1}$ de dual gold e 200 $ml\ ha^{-1}$ de espalhante adesivo. Em pós-emergência foram realizadas duas aplicações de glifosato aos 15 e 35 dias após a emergência.

O controle de doenças foi realizado com 3 aplicações de fungicidas. Na primeira, aos 35 dias após a emergência, foi aplicado um produto a base de azoxistrobina + benzovindiflupir associado a outro fungicida a base de ciproconazol + difenoconazol. Na segunda aplicação, utilizou-se dois fungicidas, sendo um a base de azoxistrobina + benzovindiflupir associado a outro a base de clorotalonil. Na terceira associou-se um fungicida a base de clorotalonil a outro contendo ciproconazol + difenoconazol.

O controle de pragas foi realizado em duas aplicações para controle do percevejo marrom (*Euschistus heros*), sendo uma a base de tiametoxam + lambda-cialotrina e outra à base de imidacloprido + bifentrina.

A colheita da soja foi realizada na primeira semana de fevereiro de 2022, colhendo-se mecanicamente duas linhas de cinco metros, amostradas ao acaso dentro de cada parcela.

Na ocasião da colheita foram realizadas as seguintes determinações para a cultura da soja:

Altura de planta: Foi determinada no momento da colheita, medindo-se dez plantas ao acaso dentro de cada repetição, com régua graduada em cm, a distância entre

o nível do solo até o ápice da planta.

Número de ramificações por planta: Foram escolhidas 5 plantas ao acaso por parcela e contabilizado o número de ramificações por planta.

Inserção da primeira vagem: A altura da inserção foi determinada com régua graduada em centímetros, tomando-se a distância entre o nível do solo e o início da primeira inserção da vagem.

Número de vagens por planta: Foram amostradas 5 plantas por parcela e em seguida a contagem do número de vagens, com os valores representando a média de vagens por planta.

Número médio de grãos por vagem: Foram contabilizados o total de grãos e vagens de 10 plantas por parcela e definido pela razão entre número de grãos dividido pelo número de vagens.

Massa de mil grãos: Após determinar a produtividade foi efetuada a contagem de oito sub-amostras de 100 grãos por repetição de cada tratamento. As amostras foram pesadas em balança de precisão com três casas decimais, corrigindo-se o grau de umidade para 13%. A massa de 1000 grãos foi determinada de acordo com as Regras para Análises de Sementes (BRASIL, 2009).

Produtividade: Foi determinada após a maturação fisiológica das plantas, amostrando-se uma área de 4,5 m², dentro de cada repetição. Após a trilha das plantas com trilhadeira estacionária e limpeza dos grãos, os mesmos foram pesados em balança digital, corrigindo-se o grau de umidade para 13%, com os valores expressos em kg ha⁻¹.

A palha sobre o solo após a colheita da soja foi mensurada, utilizando-se armação de metal de 1,0 m² em dois pontos por parcela, coletando a palha do local e separando um volume conhecido para determinação da massa seca.

3.5 Análise química

Em julho de 2021 foram coletadas amostras nas camadas de 0-10 cm, com auxílio de um enxadão e um trado do tipo calador. Em cada parcela foram coletadas cinco amostras simples para a composição de uma composta.

Os atributos analisados foram: pH em CaCl₂, potássio (K⁺), fósforo (P), cálcio (Ca²⁺), magnésio (Mg²⁺), alumínio (Al), hidrogênio + alumínio (H⁺ + Al³⁺), soma de bases (SB), capacidade de troca catiônica (CTC), saturação por base (V%) e matéria orgânica (MO), de acordo com metodologia descrita por Silva (2009).

3.6 Bioanálise do solo (BioAS)

Para a aplicação da tecnologia BioAS foi realizada uma amostragem de solo de 0 a 10 cm no mês de julho de 2021, porque esta é a camada diagnóstica, a qual também pode ser usada para a análise química de rotina.

Foram feitas múltiplas coletas em linhas e entre linhas do último cultivo, formando uma amostra de solo composta por várias subamostras. O solo coletado foi seco ao ar e peneirado em peneira com malha de 2 mm. As amostras foram posteriormente levadas para análise. As atividades das enzimas β -glicosidase e arilsulfatase foram determinadas de acordo com Tabatabai (1994), no laboratório de Microbiologia do Solo, da Embrapa Cerrados. O método é baseado na determinação colorimétrica do p-nitrofenol liberado por essas enzimas, quando o solo é incubado com uma solução tamponada de substratos específicos para cada enzima. Os valores de atividade são expressos em $\mu\text{g p-nitrofenol g}^{-1} \text{ solo h}^{-1}$ ($\mu\text{g PNP g}^{-1} \text{ solo h}^{-1}$). Em todas as análises de atividade enzimática, para cada amostra foram utilizadas duas repetições analíticas mais um controle.

3.7 Análise estatística

Os dados de todas as variáveis avaliadas foram submetidos à análise de variância, para verificação dos efeitos das culturas. As comparações das médias foram feitas pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade, utilizando o programa computacional Sisvar.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Massa seca das culturas de outono-inverno

Avaliando os efeitos dos tratamentos, observou-se que há diferenças ($p \leq 0,05$) para produção de massa seca das culturas de outono-inverno em 2021 e 2022 (Tabela 2). No ano de 2021 o maior valor de massa seca foi obtido pelo cultivo da ervilhaca, não diferindo das demais culturas, exceto do pousio, que apresentou a menor média.

Analisando os dados climáticos do outono-inverno apresentados nas Figuras 4 e 6 nos anos de 2021 e 2022, verifica-se um regime pluvial médio entre os meses de março e agosto de 267 e 597 mm, respectivamente. Aos 30 dias após a semeadura das culturas na safra de outono-inverno de 2021, não houve precipitações pluviométricas, sendo que neste mesmo período em 2022 o acumulado foi de 235 mm.

Ao comparar a incidência de chuvas aos 60 dias após a semeadura em 2021 o acumulado foi de apenas 10 mm enquanto que para a safra de 2022 foi de 229 mm. Além disso, a safra de outono-inverno de 2021 foi marcada pela ocorrência de fortes geadas no início e no final de julho que afetou significativamente o desenvolvimento vegetativo das culturas.

Portanto, a safra de outono-inverno de 2021 foi marcada pela maior ocorrência de intempéries climáticas, as culturas tanto de sucessão como rotação de culturas tiveram produção de biomassa em quantidades abaixo do recomendado. Principalmente em regiões tropicais recomenda-se a quantidades média de 12.500 Kg ha⁻¹ como critério de segurança para que o sistema plantio direto seja conduzido de modo eficiente, garantindo o acúmulo de C no solo em níveis ideais (SÁ et al.,2015).

Porém, é importante salientar que além da quantidade a qualidade é um fator importante a ser levado em consideração para que o sistema de plantio direto se torne eficiente, uma vez que existem culturas que produzem grandes quantidades de massa seca, mas que deixam o solo descoberto devido a sua rápida mineralização.

Tabela 2. Valores médios de massa seca sobre o solo no período de outono-inverno de 2021 e 2022. Dourados, MS, 2022.

Tratamento	Sistema	Massa seca outono-inverno (kg ha ⁻¹)	Sistema	Massa seca outono-inverno (kg ha ⁻¹)
	2021		2022	
T1	Pousio	1.155 b	Pousio	1.098 e
T2	Milho	7.137 a	Milho	5.295 c
T3	Milho/Braquiária	7.500 a	Milho/Braquiária	11.307 a
T4	Sorgo	6.837 a	Sorgo	6.971 c
T5	Braquiária/Trigo mourisco	6.412 a	Trigo	3.445 d
T6	<i>C.Ochroleuca</i> /Braquiária	7.462 a	Cartamo	5.890 c
T7	Aveia preta	5.400 a	<i>C.Ochroleuca</i> /Milheto/TrigoM/Braquiária	6.271 c
T8	<i>C.Ochroleuca</i> /Milheto/TrigoM/Braquiária	6.587 a	<i>Crotalaria spectabilis</i>	8.387 b
T9	Niger	7.862 a	Nabo forrageiro/Aveia/TrigoM/Níger	5.446 c
T10	Ervilhaca	7.975 a	Braquiária/Trigo mourisco	9.040 b
T11	Nabo forrageiro	7.925 a	<i>C.spectabilis</i> /Trigo mourisco/Milheto	6.388 c
	CV (%)	23.15		17.21

Médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente pelo teste de Scott Knott a 5% de probabilidade.

Na safra de outono-inverno de 2022 o maior valor de massa seca foi obtido pelo consórcio de milho + braquiária, com 11.307 kg ha⁻¹, diferindo dos demais tratamentos (Tabela 2). A maior produção de massa seca resultante do consórcio entre milho e braquiária na safra de outono-inverno de 2022, demonstra que essas duas espécies possuem alta capacidade de produção de matéria seca, além de bom aproveitamento da mesma área proporcionado pelo sistema de consórcio. A cultura do milho, por ser uma planta C4 com alta eficiência fotossintética, produz matéria seca em grande quantidade, devido ao seu alto porte, enquanto que a braquiária utiliza os recursos disponíveis no solo para otimizar seu desenvolvimento nas entrelinhas, juntas essas duas espécies aumentam por volume de área a quantidade de massa seca (PIATI, 2022).

O tratamento de milho solteiro cultivado sobre soja e milho consorciado com braquiária diferiram entre si, com 5.295 e 11.307 kg ha⁻¹, respectivamente. Ensinas (2015) obteve valor de massa seca de milho solteiro em torno de 4.271 kg ha⁻¹, valor inferior ao obtido neste experimento. Portanto, a causa da menor quantidade de cobertura de solo com milho solteiro, pode estar relacionada ao fato de que a planta de milho acumula menos massa, já que ela está formada por um único colmo, diferentemente das pastagens que produzem afixos e formam touceiras (FONTANELI et al., 2009).

Neves (2021) obteve valores de massa seca de milho consorciado com braquiária de 5.440 kg ha⁻¹, valores abaixo dos encontrados neste experimento, em ambas as safras. Piaty (2022) em experimento avaliando produção de massa seca de milho + braquiária, obteve valores em torno de 7.280 kg ha⁻¹, resultado semelhante ao obtido neste estudo (7.500 Kg ha⁻¹) na safra 2021, porém inferior ao valor obtido na safra de outono-inverno de 2022 (Tabela 2).

O cultivo de milho em consórcio com braquiária traz inúmeros benefícios para o sistema de plantio direto, além de proporcionar grande quantidade de massa seca apresenta alta relação C/N, diminuindo a velocidade de decomposição da palha, brindando maior proteção ao solo contra erosões e radiação solar, além de reduzir a infestação de plantas daninhas na área (TIMOSSI et al., 2007; SILVA et al., 2008; BRAMBILLA et al., 2009; SECRETTI, 2017). Além disso, a quantidade de massa seca depositada sobre o solo pelo consórcio entre essas duas culturas ocorre a mineralização dos resíduos vegetais, proporcionando a liberação de nutrientes, como N e K, beneficiando as culturas em sucessão (COSTA et al., 2015).

Ainda na safra outono-inverno de 2022, o consórcio entre as culturas braquiária + trigo mourisco, e a *Crotalaria spectabilis* resultou em produção de massa seca da parte

aérea de 9.040 e 8.387 Kg ha⁻¹ respectivamente, significativamente maior do que o cultivo do sorgo, cartamo, milho solteiro, e dos tratamentos com mix de culturas (Tabela 2). Já o trigo apresentou resultado significativamente superior apenas em relação ao tratamento com pousio com 3.445 Kg ha⁻¹ de produção de biomassa seca da parte aérea.

O consórcio entre braquiária e trigo mourisco apresentou quantidade elevada de massa seca. As duas culturas apresentam alta relação C/N, o que favorece a permanência da palhada sobre o solo, além de boa produção de massa seca. O trigo mourisco permite o melhor aproveitamento de nutrientes do solo, é tolerante a pragas e doenças, atua como supressor de plantas daninhas e na redução de nematoides no solo (SILVA, 2021). O consórcio entre essas duas espécies, torna-se uma ótima opção para o sistema de rotação de culturas visando aumentar a qualidade da produção agrícola.

A massa seca proporcionada pela *Crotalaria spectabilis* apresentou valor superior ao obtido em estudo por Neves (2021) de 4.120 kg ha⁻¹. A crotalária é uma cultura que possui alta produção de massa seca com relação C/N elevada, tem sido uma boa opção como cobertura, melhorando os atributos químicos, físicos e biológicos do solo de forma gradativa, além de contribuir na fixação biológica de nitrogênio, aumentando a produtividade de culturas em sucessão (SOUZA, 2012; SEGRETTI, 2017).

As coberturas com sorgo, cartamo, milho solteiro e os mix *Crotalaria spectabilis* + trigo mourisco + milheto, *Crotalaria ochroleuca* + milheto + trigo mourisco + braquiária, nabo forrageiro + aveia + trigo mourisco + níger, cultivados no outono-inverno de 2022 não diferiram estatisticamente entre si (Tabela 2). Não se observam relatos com a mistura dessas plantas de cobertura, no entanto, Oliveira et al. (2015) avaliando o desempenho do mix de crotalária e milheto, observaram que o mix proporcionou aumento da massa seca da parte aérea, quando comparado ao cultivo solteiro da crotalária. Já Freitas et al. (2012), estudando plantas de cobertura observaram maior taxa de cobertura do solo quando as plantas foram cultivadas em mix do que no cultivo solteiro.

Mesmo este estudo tendo apresentado menor produção de palhada nos tratamentos com mix de culturas, o uso desses mix de plantas de cobertura combinando gramíneas e leguminosas, possui vantagem em relação ao cultivo solteiro, tornando-se uma alternativa viável para potencializar a qualidade da palhada. As leguminosas possuem rápida velocidade de decomposição da palha disponibilizando N no solo, enquanto que as gramíneas possuem degradação lenta e imobilizam os nutrientes. Dessa forma, a palhada se decompõe de forma mais lenta, mantendo o solo coberto por mais tempo, mas

disponibilizando N no solo que favorece o desenvolvimento da cultura em sucessão (LATATI et al., 2016; MICHELON et al., 2019).

Além de Poaceas (gramíneas) e Fabaceas (leguminosas), outras espécies de plantas de cobertura também possuem potencial para serem combinadas entre si, como o trigo mourisco (*Fagopyrum esculentum*), níger (*Guizotia abyssinica*), nabo forrageiro (*Raphanus sativus L.*) e aveia branca (*Avena sativa*). O trigo mourisco é uma excelente planta de cobertura, rustica, recicladora de nutrientes, tolerante a acidez e falta de água no solo, além de ser eficiente no controle de plantas daninhas (GORGEN, 2013). O níger é uma espécie que produz boa quantidade de fitomassa, de ciclo curto e esta associada a atividade de fungos micorrízicos no solo (CARNEIRO et al., 2008; NEVES, 2021).

O nabo forrageiro contribui na reciclagem de nutrientes, descompactação do solo, formação de biosporos, entre outros (FREITAS, 2014). A aveia preta possui boa formação de cobertura é tolerante a acidez, crescimento vigoroso, possui baixa exigência em fertilidade por ser rústica, vem sendo muito indicada como boa opção para cobertura do solo na região de Mato Grosso do Sul (SILVA et al., 2006). Portanto, o uso de mix de espécies na rotação de culturas tem sido uma alternativa interessante para a formação de palhada aumentando assim os níveis de matéria orgânica no solo (RODRIGUES et al., 2012).

Araújo (2020) ao avaliar a quantidade de massa seca do sorgo obteve produção de 12.050 kg ha⁻¹, valor superior ao encontrado neste experimento (6.971 kg ha⁻¹) utilizando a mesma cultivar. O sorgo é uma excelente opção como cultura de cobertura e produtora de matéria seca, é uma planta resistente a condições de déficit hídrico, com elevada capacidade de aproveitamento da água.

Avaliando a produção de massa seca de cártamo (*Carthamus tinctorius*), Franchini (2014) obteve média de 2.841 kg ha⁻¹, inferior ao obtido neste estudo no ano de 2022 na mesma área agrícola (5.890 kg ha⁻¹). O cartamo é uma excelente opção para ser inserida no sistema de plantio direto, por ser uma cultura com alta produção de massa seca e pela adaptabilidade a diversas condições climáticas. Souza et al. (2015) concluíram que o cártamo pode ser inserido no sistema de rotação com soja sem causar prejuízos ao crescimento ou à produtividade da cultura principal.

Piletti (2016) obteve valores de massa seca de trigo 5.080 kg ha⁻¹, assim como Secretti (2017) avaliando massa seca da cultura na mesma área do experimento e obteve 7.186 kg ha⁻¹, valores superiores aos obtido neste experimento em 2022. O trigo é uma cultura que produz boa quantidade de massa seca, além de produzir grãos comercializado

sendo uma ótima alternativa para o produtor.

O pousio anteriormente cultivado com soja proporcionou a menor produção de biomassa seca do experimento em ambos os anos agrícolas. A área de pousio no período de outono-inverno deixa o solo exposto, permitindo o desenvolvimento de plantas daninhas, conseqüentemente gerando custos para seu controle. Assim, as práticas que envolvem a cobertura vegetal são fundamentais no controle da erosão, plantas daninhas e melhoram a disponibilidade de nutrientes para a cultura em sucessão.

4.2 Características agronômicas da soja (safra 2021/2022)

Na Tabela 2 estão apresentadas as médias de altura de planta, inserção de primeira vagem, número de ramificações por planta e número de vagens por planta obtidos na safra 2021/2022. Houve diferença estatística apenas para altura de plantas, as demais variáveis não foram significativas estatisticamente.

Tabela 3. Altura de planta, altura de inserção de vagem, número de ramificações por planta, número de vagens por planta da soja submetida a diferentes culturas antecessoras, safra 2021/2022. Dourados, MS, 2022.

Tratamentos	Altura de Planta (cm)	Inserção de Vagem (cm)	Ramificações (n°)	Vagens por Planta (n°)
Pousio	69,62 c	10,62 ^{ns}	2,50 ^{ns}	67,90 ^{ns}
Milho	80,00 b	9,50	2,75	67,20
Milho/Braquiária	84,20 b	10,57	3,20	76,00
Sorgo	82,50 b	9,15	3,20	77,20
Braquiária/Trigo mourisco	88,67 a	10,40	2,80	70,60
<i>C.Ochroleuca</i> /Braquiária	85,92 a	10,52	3,40	79,95
Aveia preta	87,77 a	10,95	3,35	82,20
<i>C.Ochro</i> /Milheto/TrigoM/Braq	85,77 a	10,90	3,05	73,40
Níger	85,95 a	10,02	2,70	84,45
Ervilhaca	81,80 b	10,15	2,35	78,15
Nabo forrageiro	83,52 b	10,25	2,35	84,40
CV (%)	3.42	10.70	19.54	16.62

^{ns} Não diferem entre si pelo teste F ($p < 0,05$). ¹ Médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente pelo teste de Scott Knott a 5% de probabilidade.

A soja semeada em sucessão ao pousio, apresentou menor altura de plantas, diferindo dos demais tratamentos, que pode estar associado a menor quantidade de palhada sobre o solo. A altura de plantas é um parâmetro importante por estar relacionado com a produtividade, acamamento, ao ambiente de cultivo, população de plantas e eficiência na colheita mecanizada (SOUZA et al., 2013).

Em pesquisas realizadas por Pedroso (2011), com outras cultivares e locais distintos mostraram que pode haver uma variação na altura de plantas em função de culturas antecessoras. Porém, essa variável não somente é influenciada pelas culturas antecessoras, mas também pelo manejo e condições climáticas.

As alturas médias das plantas de soja variaram de 69,62 cm (pousio/soja) a 88,67 cm (braquiária + trigo mourisco/soja) (Tabela 3). As maiores alturas foram encontradas quando a soja foi semeada em sucessão a braquiária/trigomourisco, aveia preta, níger, ochroleuca/braquiária e ochroleuca/milheto/trigo mourisco/braquiária. A cultivar BRS 1061 IPRO atinge altura média de plantas em torno de 95 cm, valor este acima dos encontrados neste trabalho.

Para altura de inserção da primeira vagem não foram encontradas diferenças significativas entre os valores médios obtidos. De acordo com Piletti (2016), a altura de inserção da primeira vagem de soja é uma característica importante que favorece a operação de colheita mecanizada, valores inferiores a 10 cm podem resultar em perdas na colheita. Neste experimento apenas na rotação milho/soja e sorgo/soja apresentaram inserção de vagem inferior a 10 cm (Tabela 3). Leite et al. (2015) afirmam que plantas que atingem maior altura na floração e conseqüentemente, maior altura na maturação, tendem a apresentar maior altura de inserção da primeira vagem.

O número de ramificações por planta e o número de vagens por planta não foram influenciadas pelas culturas antecessoras a soja. O número de ramificações variou de dois a quatro ramos, já o número de vagens variou entre 67 na sucessão pousio/soja e de 84 na sucessão níger/soja.

4.3 Massa de mil grãos e Produtividade

Na Tabela 4 são apresentados os resultados de massa de mil grãos e produtividade da soja da safra 2021/2022.

Tabela 4. Massa de mil grãos (g) e produtividade (kg ha⁻¹) de soja submetido a

Tratamentos	Massa de Mil Grãos (g)	Produtividade (K ha ⁻¹)
Pousio	130.58 ^{ns}	3.281 c
Milho	128.16	4.119 b
Milho/Braquiária	128.94	4.438 b
Sorgo	129.17	4.171 b
Braquiária/Trigo mourisco	138.67	4.991 a
<i>C.Ochroleuca</i> /Braquiária	132.44	4.908 a
Aveia preta	132.05	5.233 a
<i>C.Ochroleuca</i> /Milheto/TrigoM/Braquiária	139.49	4.902 a
Níger	138.69	5.047 a
Ervilhaca	137.47	5.027 a
Nabo forrageiro	133.77	4.442 b
CV (%)	6.40	8.81

^{ns} Não diferem entre si pelo teste F (p<0,05). ¹ Médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente pelo teste de Scott Knott a 5% de probabilidade.

A massa de mil grãos não apresentou diferenças significativas diante dos tratamentos (Tabela 4). França et al. (2018) também não encontraram diferença na massa de mil grãos de soja sob diferentes culturas antecessoras na mesma área de cultivo. A massa de mil grãos é um importante componente para a produtividade de grãos, essa variável pode ser determinada pela genética da variedade, mas pode ser influenciada pelo ambiente (PILETTI et al., 2016). Assim, podendo ser afetado por qualquer tipo de estresse que ocorra com a planta.

Embora não existindo diferença significativa entre os tratamentos para massa de mil grãos, os valores encontrados neste trabalho estão abaixo da média. De acordo com a Embrapa, a variedade BRS 1061 IPRO tem peso médio de mil grãos de 171 g. Esses resultados podem ter sido influenciados pelos menores índices de chuva (Figura 5), provocando redução no crescimento dos órgãos da planta como folhas, hastes e vagens e consequentemente redução da massa de mil grãos.

Avaliando a precipitação pluvial apresentada na Figura 5 na safra 2021/2022, verifica-se um regime pluvial médio entre os meses de outubro a fevereiro de 566 mm, porém mal distribuídas, concentrando-se nas 6 primeiras semanas, acumulando 290 mm e 123 mm nos primeiros 30 e 60 dias respectivamente. Após esse período o volume pluviométrico foi diminuindo afetando o período mais crítico da cultura, entre o florescimento e o enchimento de grãos, na qual 30 dias antes do final do ciclo da cultura o volume de chuva foi de apenas 25 mm. Essa drástica redução das precipitações foi causada pelo fenômeno La Niña, que afetou principalmente a região Sul e o Mato Grosso do Sul, resultando na

redução da produtividade nessas regiões (CONAB, 2022).

As maiores produtividades foram obtidas nos sistemas de rotação, no qual a soja cultivada sobre aveia proporcionou as maiores médias, não diferindo de braquiária + trigo mourisco, ochroleuca + braquiária, ochroleuca + milheto + trigo mourisco + braquiária, níger e ervilhaca (Tabela 4). Estas apresentaram diferença significativa apenas entre o nabo forrageiro e os tratamentos de sucessão de culturas (milho, milho+braquiária e sorgo). Observou-se ainda que o tratamento pousio/soja obteve a menor produtividade entre os tratamentos. Esses resultados mostram a importância do sistema de rotação de culturas, tanto em anos com condições climáticas favoráveis ou adversas.

Na safra 2021/2022 a produtividade média de soja no Estado de Mato Grosso do Sul foi de 2.520 Kg ha⁻¹ (CONAB, 2022). A média do estado foi inferior as produtividades obtidas neste experimento, deve-se ressaltar que mesmo no tratamento pousio/soja as produtividades foram superiores comparadas a média do estado. Portanto, houve efeito significativo das culturas antecessoras na produtividade de grãos de soja.

O aumento de produtividade de soja nos sistemas de rotação de culturas pode estar associado a maior capacidade de infiltração de água no solo, conservação da umidade por mais tempo, melhorias na estruturação do solo (ACHARYA et al., 2019), aumento nos teores de nitrogênio no solo (OLIVEIRA et al., 2013) utilizando principalmente a alternância de gramíneas e leguminosas (OLIVEIRA et al., 2013; PACHECO et al., 2017).

Além disso, o plantio direto sem a rotação de culturas se torna ineficiente. A alternância de culturas ao longo do tempo em uma mesma área agrícola influencia o processamento de resíduos que vão sendo adicionadas ao solo, contribuindo também na dinâmica da matéria orgânica e ciclagem de nutrientes, tornando-se fundamental para manutenção de serviços de solo nos sistemas agrícolas (VAN DEN PUTTE et al., 2010; NEVES, 2021).

4.4 Palhada remanescente das culturas após a colheita da soja

Os dados da palhada coletada sobre o solo quinze dias após a colheita da soja estão apresentados na Tabela 5, observa-se que houve diferença significativa ($p < 0,05$) entre os tratamentos. Após a colheita da soja, os maiores acúmulo de palhada remanescente foram dos sistemas contendo nabo forrageiro, aveia preta, braquiária + trigo mourisco, sorgo, milho + braquiária, *Crotalaria ochroleuca* + braquiária, *Crotalaria ochroleuca* + milheto

+ trigo mourisco + braquiária e ervilhaca, não apresentando diferenças estatísticas entre si, porém estes diferiram dos demais tratamentos (níger, milho e pousio).

Tabela 5. Palhada remanescente após a colheita da soja em sistemas de sucessão e rotação de culturas na safra 2021/2022.

Tratamentos	Palhada remanescente (kg ha ⁻¹)
	2021/2022
Soja/Pousio/Soja	3.423 b
Soja/Milho/Soja	3.791 b
Soja/Milho/Braquiária/Soja	4.677 a
Soja/Sorgo/Soja	4.830 a
Milho/Braquiária+Trigo mourisco/Soja	4.891 a
Milho/ <i>C.Ochroleuca</i> +Braquiária/Soja	4.655 a
Milho/Aveia preta/Soja	4.995 a
Milho/ <i>C.Ochroleuca</i> +Milheto+TrigoM+Braquiária/Soja	4.400 a
Milho/Níger/Soja	3.981 b
Milho/Ervilhaca/Soja	4.233 a
Milho/Nabo forrageiro/Soja	5.313 a
CV (%)	13.65

Médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente pelo teste de Scott Knott a 5% de probabilidade.

A palhada remanescente sobre a superfície do solo é decomposta pela ação da microbiota, sendo que a velocidade de decomposição irá depender das condições climáticas e composição do material vegetal (CUNHA et al., 2015). Todavia, vale ressaltar que a quantidade de palhada no solo depende de fatores como: relação C/N, quantidade de material vegetal produzido, temperatura, umidade e o manejo adotado (NEVES, 2021). A relação C/N está ligada a espécie e determina a velocidade de decomposição da palha, assim, as leguminosas possuem decomposição rápida e gramíneas, lenta, já as demais espécies tem comportamento intermediário.

O sistema com nabo forrageiro proporcionou em média 5.313 Kg ha⁻¹ de massa seca remanescente, está entre as que mais produziram massa seca no outono-inverno de 2021 e cultivada sobre os restos culturais do milho verão da safra anterior. O nabo forrageiro é uma espécie que possui baixa relação C/N, portanto tende a se decompor rapidamente, assim como a soja. Entretanto, o uso dessa espécie como planta de cobertura tem como vantagem o efeito alelopático sobre plantas daninhas, impedindo seu estabelecimento na área (RIZZARDI e SILVA, 2006).

A soja cultivada no verão tende a deixar menores quantidades de palhada sobre

solo, devido à baixa relação C/N e acelerada decomposição, comparada a cultura do milho verão que antecedeu as espécies cultivadas no outono-inverno nos tratamentos com rotação de culturas. Por esse motivo as plantas de cobertura com maior quantidade de massa no outono-inverno são fundamentais para sistemas que tenham menores quantidades de massa seca no verão, como a soja, que deixa o solo desprotegido, o que não é desejável no sistema plantio direto.

O tratamento contendo níger/soja, diferiu dos demais tratamentos em rotação de culturas, com menor média de palhada remanescente, essa diferença pode estar relacionada à característica morfofisiológica da cultura, planta de ciclo curto, que possui baixo acúmulo de matéria seca em relação às demais espécies e apresenta baixa relação C/N, esses fatores podem ter favorecido o menor acúmulo de palhada sobre o solo.

Os tratamentos milho+braquiária/soja e o sorgo/soja cultivadas sobre os restos culturais da soja verão da safra anterior (2020/2021) não diferiram estatisticamente dos tratamentos com rotação de culturas (Tabela 5), a palhada dessas gramíneas possui maior persistência no solo devido a sua alta relação C/N, o que retardou a sua decomposição.

Segundo Ribeiro (2019), a persistência da palhada do milho é atribuída a composição dos resíduos deixados após a colheita em sua maioria constituídos por colmos e sabugos, esses materiais apresentam maior relação C/N e são mais lignificados, tornando-a mais resistente a ação dos microrganismos decompositores. Assim, como o sorgo que produz boa quantidade de massa seca proveniente do colmo, que possui muitas fibras, retardando a sua decomposição.

No entanto, o consórcio milho + braquiária destaca-se no acúmulo de palhada remanescente em comparação com milho solteiro. Segundo Ceccon et al. (2013), a forrageira cultivada em consórcio continua acumulando massa seca durante a entressafra sob condições climáticas favoráveis. Desta forma, a palhada permanece no solo por mais tempo, promovendo proteção física, umidade e aumento de carbono orgânico no solo, beneficiando o sistema produtivo.

O valor de massa seca remanescente obtido na área de pousio, cujo cultivo é soja no verão, é justificado pela presença de resíduos da cultura da soja e pela massa seca por parte das plantas daninhas espontâneas na área, que uma vez dessecadas servem de cobertura do solo, variando em quantidade e qualidade, não sendo recomendados por gerar custos elevados (LEAL et al. 2005; CASTRO et al., 2011).

Avaliando os dados obtidos neste experimento em relação a massa seca do outono-inverno (2021), a produtividade da soja e a palhada remanescente dessas culturas,

observa-se que as culturas de outono-inverno tiveram efeito positivo sobre a produtividade da soja apesar das condições climáticas adversas, sendo as maiores produtividades obtidas nas rotações de culturas, onde também foi constatado os maiores acúmulos de palhada remanescente, exceto o nabo forrageiro que proporcionou uma das maiores média de palhada remanescente, porém a produtividade foi menor do que os demais tratamentos em rotação. Resultado contrário ao do níger, que obteve uma das maiores produtividades de soja, mas a média da palhada remanescente foi uma das menores. Mas vale resaltar que esses tratamentos se encontram em rotação de culturas, por tanto o histórico de rotações tem grande influência nesses resultados.

Esses resultados mostram a importância da rotação de cultura na manutenção da palhada sobre a superfície do solo, favorecendo a microbiota e a ciclagem de nutrientes. Assim, sistemas de sucessão ou monocultura não atendem ao princípio fundamental do sistema de plantio direto, por não realizar a rotação de culturas, mesmo que não haja revolvimento do solo na área de cultivo. A não adoção da rotação de culturas afeta não só a produtividade no decorrer do tempo, mas também os custos de produção, pela maior incidência de doenças, pragas e plantas daninhas, além da menor disponibilidade de nutrientes essenciais pro desenvolvimento das culturas.

4.5 Atributos químicos

A partir dos dados da análise química do solo na camada de 0-10 cm, observa-se que houve diferença ($p < 0,05$) apenas para potássio e matéria orgânica, os demais atributos analisados não apresentaram diferença significativa (Tabela 6).

Na camada de 0-10 cm, no solo cultivado com as sucessões de culturas observou-se os menores teores de potássio em relação à rotação contendo nabo forrageiro e o consórcio crotalária ochroleuca + braquiária. O maior acúmulo de matéria orgânica no solo foi no sistema de rotação contendo nabo forrageiro, sendo superior aos demais tratamentos, seguido dos sistemas contendo milho, crotalária ochroleuca + braquiária e ochroleuca + milheto + trigo mourisco + braquiária que não diferiram estatisticamente entre si, porém apresentaram teores de matéria orgânica superiores aos demais tratamentos, no qual o menor acúmulo foi observado no pousio. Os valores para todos os nutrientes, assim como pH, $H^+ + Al^{3+}$, SB, CTC e V% encontram-se adequados ou altos conforme Embrapa (2015).

Tabela 6. Análise dos atributos químicos do solo na camada de 0-10 cm para rotações e sucessões de culturas. Dourados, MS. 2022

Tratamentos	pH	Ca ²⁺	Mg ²⁺	H ⁺ + Al ³⁺	K ⁺
	CaCl ₂	(cmolc dm ⁻³)			
Pousio	5,50 ^{ns}	4,80 ^{ns}	1,97 ^{ns}	4,59 ^{ns}	0,70 c
Milho	5,41	4,68	1,89	5,15	0,74 c
Milho/Braquiária	5,34	4,49	1,81	5,24	0,71 c
Sorgo	5,43	4,91	2,06	5,22	0,79 c
Braquiária/Trigo mourisco	5,36	4,74	1,80	5,41	0,79 c
<i>C.Ochroleuca</i> /Braquiária	5,62	5,51	1,79	4,58	0,93 b
Aveia preta	5,36	4,90	1,94	5,18	0,88 c
C.Ochro/Milheto/TrigoM/Braq	5,27	4,49	1,97	5,81	0,80 c
Níger	5,42	4,93	1,80	5,01	0,69 c
Ervilhaca	5,42	4,85	1,97	4,82	0,78 c
Nabo forrageiro	5,63	5,29	2,12	4,83	1,13 a
CV (%)	4,80	14,83	15,03	17,00	15,52
Tratamentos	SB	CTC	P	V	MO
	(cmolc dm ⁻³)		(mg dm ³)	(%)	(g dm ³)
Pousio	7,47 ^{ns}	12,07 ^{ns}	33,38 ^{ns}	61,93 ^{ns}	29,71 c
Milho	7,32	12,47	34,21	58,62	34,52 b
Milho/Braquiária	7,01	12,26	32,59	57,15	33,36 c
Sorgo	7,78	13,00	35,69	59,97	32,55 c
Braquiária/TrigoM	7,33	12,74	25,57	57,56	32,67 c
<i>C.Ochroleuca</i> /Braquiária	8,51	13,09	36,56	64,77	34,03 b
Aveia preta	7,58	12,76	34,77	59,41	31,91 c
C.Ochro/Milheto/TrigoM/Braq	7,23	13,04	31,26	55,39	33,88 b
Níger	7,43	12,44	31,61	59,67	32,04 c
Ervilhaca	7,61	12,43	27,84	61,05	33,03 c
Nabo forrageiro	8,54	13,38	31,83	63,77	36,82 a
CV (%)	13,21	4,55	16,48	11,49	5,11

^{ns} Não diferem entre si pelo teste F (p<0,05). ¹ Médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente pelo teste de Scott Knott a 5% de probabilidade.

Teores elevados de matéria orgânica na camada superficial do solo, estão ligados aos resíduos depositados pelas culturas, que no plantio direto são deixados em cobertura por não haver revolvimento do solo, diminuindo a taxa de mineralização. Assim, ocorre liberação de nutrientes como Ca, K e Mg para as camadas superficiais. Segundo Ribeiro (2016), a concentração elevada desses nutrientes influencia no aumento da saturação por base (V%). Portanto, os teores de matéria orgânica estão diretamente relacionados a química do solo, reduzindo o alumínio tóxico e elevando a CTC do solo (ANDRIOLI; MELO PRADO, 2012; NEVES, 2021).

Os resultados obtidos neste experimento mostram que, nos tratamentos que apresentaram maiores teores de matéria orgânica, os teores potássio também foram mais elevados, como no sistema contendo nabo forrageiro, mas no geral os valores de todos os tratamentos são considerados muito altos. Segundo Mechi (2017), por meio da decomposição da matéria orgânica, ocorre a liberação de nutrientes, sendo que o potássio é facilmente liberado da palhada, por estar sempre na forma iônica (K^+). Ainda, a análise de solo na camada de 0-10 cm apontou que os teores de alumínio estão zerados em todas as parcelas independentemente dos tratamentos.

A ausência de diferença observada para a maioria das características químicas avaliadas no solo entre os tratamentos e os sistemas de cultivo se deve ao fato de que há presença de cultivos tanto na primeira como na segunda safra sem que haja revolvimento do solo, já que o experimento se encontra em sistema de plantio direto desde 2009.

O acúmulo de resíduos deixados pelos cultivos sucessivos na safra e entressafra depositam grandes quantidades de nutrientes ao solo, contudo, em um ambiente que se altera de forma tão contínua como o solo é difícil obter resultados precisos dos benefícios que cada espécie de cobertura tanto em rotação como em sucessão está proporcionando (PITTELKOW et al., 2012; NEVES, 2021). Em experimentos de longa duração, os sistemas de manejo ao longo do tempo, buscam um equilíbrio nutricional e para isso a interferência das espécies é avaliada de forma conjunta, mostrando os efeitos do sistema ao longo dos anos, como é o caso deste experimento. De modo geral, todos os tratamentos estudados apresentam condições químicas adequadas para o desenvolvimento das culturas.

4.6 Bioanálise de solo

Na Tabela 7 são apresentados as análises estatísticas dos resultados de atividade enzimática determinados na safra 2021/2022, para cada um dos tratamentos, observa-se que houve diferença significativa entre os tratamentos para todas as características avaliadas, exceto para a função suprimento de nutrientes do solo.

De maneira geral, observa-se que embora tenham sido detectadas diferenças significativas entre as variáveis, essas diferenças foram maiores quando utilizadas os indicadores biológicos. Esses resultados revelam que a arilsulfatase foi o indicador mais sensível para detectar as alterações proporcionadas pelos diferentes sistemas. A atividade da enzima arilsulfatase, foi 1,7 e 2,5 vezes maior no tratamento milho + braquiária em

comparação com o níger e pousio, respectivamente, que apresentaram as menores atividades dessa enzima.

Através do laudo de interpretação da qualidade do solo (Figura 7), é visto que a atividade da arilsulfatase apresentou resultados considerados por Mendes et al. (2018) dentro dos seguintes níveis: muito alto (milho +braquiária), alto (crotalaria ochroleuca + milho + trigo mourico + braquiaria, nabo forrageiro, crotalaria ochroleuca + braquiária, sorgo, braquiária + trigo mourisco e aveia preta), médio (milho, ervilhaca e níger) e baixo (pousio).

A enzima β -glicosidase, por sua vez, nos tratamentos contendo nabo forrageiro, crotalaria ochroleuca + braquiária, braquiária + trigo mourisco, crotalaria ochroleuca + milho + trigo mourico + braquiária, aveia preta e milho + braquiária foram estatisticamente superiores aos demais tratamentos, sendo o pousio a apresentar as menores médias (Tabela 7). Porém, pela escala proposta por Mendes et al. (2018) a enzima β -glicosidase apresenta valores considerados muito altos em todos os tratamentos, inclusive no pousio.

Tabela 7. Laudo da BioAS na camada de 0-10 cm. Dourados, MS. 2022.

Tratamentos	ARIL	BETA	MOS	IQS FERTBIO	IQS Biológico	IQS Químico	CICLAGEM Nutrientes	ARMAZ. Nutrientes	SUPRIMENTO Nutrientes
Pousio	34 c	164 c	30 c	0,73 c	0,61 c	0,79 c	0,61 c	0,69 c	0,90 a
Milho	60 a	175 b	35 b	0,81 b	0,71 b	0,85 a	0,71 b	0,81 a	0,90 a
Milho/Braquiária	84 a	219 a	33 b	0,83 b	0,81 a	0,84 b	0,81 a	0,78 b	0,90 a
Sorgo	65 a	205 b	33 c	0,82 b	0,75 a	0,86 a	0,75 a	0,79 b	0,92 a
Braquiária/Trigo mourisco	65 a	232 a	33 c	0,82 b	0,76 a	0,84 b	0,76 a	0,78 b	0,90 a
<i>C.Ochroleuca</i> /Braquiária	69 a	235 a	34 b	0,83 a	0,78 a	0,86 a	0,78 a	0,83 a	0,90 a
Aveia preta	64 a	224 a	32 c	0,81 b	0,76 a	0,84 b	0,76 a	0,77 b	0,90 a
C.Ochro/Milheto/Trigo M/Braq	72 a	226 a	34 b	0,84 a	0,79 a	0,86 a	0,79 a	0,81 a	0,91 a
Níger	50 b	192 b	32 c	0,79 b	0,70 b	0,83 b	0,70 b	0,76 b	0,91 a
Ervilhaca	57 a	201 b	33 b	0,80 b	0,73 b	0,84 b	0,73 b	0,78 b	0,90 a
Nabo forrageiro	70 a	237 a	37 a	0,85 a	0,79 a	0,89 a	0,79 a	0,88 a	0,90 a
CV (%)	18,05	11,92	5,17	2,61	5,31	2,72	5,31	5,33	1,61

Médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente pelo teste de Scott Knott a 5% de probabilidade.

Aril= Arilsulfatase; Beta= β -glicosidase; MOS= matéria orgânica; IQS= índice de qualidade do solo

Figura 7. Laudo de interpretação da qualidade do solo na camada de 0-10 cm. Dourados, MS. 2022.

Tratamentos	ARIL	BETA	MOS	IQS FERTBIO	IQS Biológico	IQS Químico	CICLAGEM Nutrientes	ARMAZ. Nutrientes	SUPRIMENTO Nutrientes
Pousio	34 c	164 c	30 c	0.73 c	0.61 c	0.79 c	0.61 c	0.69 c	0.90 a
Milho	60 a	175 b	35 b	0.81 b	0.71 b	0.85 a	0.71 b	0.81 a	0.90 a
Milho/Braquiaria	84 a	219 a	33 b	0.83 b	0.81 a	0.84 b	0.81 a	0.78 b	0.90 a
Sorgo	65 a	205 b	33 c	0.82 b	0.75 a	0.86 a	0.75 a	0.79 b	0.92 a
Braquiaria/TrigoM	65 a	232 a	33 c	0.82 b	0.76 a	0.84 b	0.76 a	0.78 b	0.90 a
Ochroleuca/Braquiaria	69 a	235 a	34 b	0.83 a	0.78 a	0.86 a	0.78 a	0.83 a	0.90 a
Aveia preta	64 a	224 a	32 c	0.81 b	0.76 a	0.84 b	0.76 a	0.77 b	0.90 a
Ochroleuca/Milheto/TrigoM/Braquiaria	72 a	226 a	34 b	0.84 a	0.79 a	0.86 a	0.79 a	0.81 a	0.91 a
Niger	50 b	192 b	32 c	0.79 b	0.70 b	0.83 b	0.70 b	0.76 b	0.91 a
Erilhaca	57 a	201 b	33 b	0.80 b	0.73 b	0.84 b	0.73 b	0.78 b	0.90 a
Nabo forrageiro	70 a	237 a	37 a	0.85 a	0.79 a	0.89 a	0.79 a	0.88 a	0.90 a

A arilsulfatase e a β -glicosidase são enzimas presentes no solo, estão associadas aos ciclos do enxofre e do carbono, respectivamente, sendo os indicadores mais sensíveis para detectar as alterações causadas no solo, em função do sistema de manejo (MENDES et al., 2019). Além disso, essas enzimas estão diretamente relacionadas com a ciclagem da matéria orgânica, apresentam precisão, coerência, sensibilidade, simples determinação analítica e reprodutibilidade (MENDES et al., 2019). Esses bioindicadores possuem grande potencial na avaliação dos impactos causados pelos sistemas de manejo do solo, permitindo a busca por melhorias na produtividade de forma sustentável.

Mendes et al. (2020), em um experimento de longa duração em Itiquira-MT, obtiveram valores da enzima arilsulfatase e β -glicosidase 8 e 4 vezes maior, respectivamente, em sistema soja/braquiária em relação ao monocultivo. De acordo com os autores, isso está relacionado ao aporte contínuo da palhada da braquiária no solo, o que favorece o acúmulo da matéria orgânica no sistema e, conseqüentemente, a ocorrência dessas enzimas no solo. Os autores relatam ainda que houve maior produtividade na sucessão soja/braquiária devido ao aporte de palhada da braquiária, suportando melhor as situações de estresse em comparação ao monocultivo.

Avaliando os dados da matéria orgânica, observa-se que a maior média foi obtida pelo tratamento contendo nabo forrageiro, diferindo estatisticamente dos tratamentos milho, milho + braquiária, crotalária ochroleuca + braquiária, crotalária ochroleuca + milho + trigo mourico + braquiária e ervilhaca. As menores médias foram dos tratamentos níger, aveia preta, braquiária + trigo mourisco, sorgo e pousio (Tabela 7).

Para os índices de qualidade do solo Fertibio, biológico e químico (IQS_{FERTIBIO} , $IQS_{\text{BIOLÓGICO}}$ e $IQS_{\text{QUÍMICO}}$), ciclagem e armazenamento de nutrientes, apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos. Observa-se que as menores médias são sempre do tratamento pousio, mostrando a importância do acúmulo de fitomassa no solo. Porém, para Mendes et al. (2018) esses valores obtidos no experimento são considerados altos ou muito altos. Esses resultados demonstram a capacidade dessas enzimas em acessar a memória do solo, mostrando o real estado da saúde do solo, muitas vezes não percebidos nas análises químicas de rotina.

Fica evidente que as práticas de manejo utilizadas na área ao longo do tempo estão impactando de maneira positiva, resultando em aumento nos teores de matéria orgânica, melhorando a saúde e a qualidade do solo, tanto física, química e biologicamente, conseqüentemente trazendo benefícios para o sistema de cultivo como um todo.

5. CONCLUSÕES

Os sistemas com rotação de culturas proporcionaram maiores produtividades à cultura da soja.

O maior acúmulo de palhada remanescente foram dos tratamentos nabo forrageiro, aveia preta, braquiária + trigo mourisco, sorgo, milho + braquiária, crotalária ochroleuca + braquiária, crotalária ochroleuca + milheto + trigo mourisco + braquiária e ervilhaca.

O sistema de rotação contendo nabo forrageiro promoveu maior teor de matéria orgânica no solo, contribuindo para um maior teor de potássio na camada de 0- 10 cm.

Embora os tratamentos fossem quimicamente semelhantes, as avaliações dos níveis de atividade enzimática demonstraram que do ponto de vista biológico eles eram completamente distintos.

A enzima arilsulfatase foi o indicador mais sensível para detectar as alterações proporcionadas pelos diferentes sistemas. Os bioindicadores demonstram que as práticas de manejo utilizadas na área ao longo do tempo proporcionaram melhorias na qualidade biológica do solo.

Os solos biologicamente ativos foram mais produtivos.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACHARYA, B. S.; DODLA, S.; GASTON, L. A.; DARAPUNENI, M.; WANG, J. J.; SEPAT, S. E.; BOHARA, H. Winter cover crops effect on soil moisture and soybean growth and yield under different tillage systems. **Soil and Tillage Research**, v. 195, 2019. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.still.2019.104430>.

ALBUQUERQUE, C. J. B.; ROCHA, G. R.; BRANT, R.S.; MENDES, M. C. Espaçamento reduzido para o cultivo do sorgo granífero no sistema irrigado e em sequeiro, **Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia**, Guarapuava, v.3, n.2, p.1-16, 2010.

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

ANDRIOLI, I. **Plantas de cobertura em pré-safra à cultura do milho em plantio direto, na região de Jaboticabal-SP**. 2004. 78f. Tese (Livre-Docente) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal. 2004.

ANDRIOLI, I.; MELO PRADO, R. Plantas de cobertura em pré-safra e adubação nitrogenada na fertilidade do solo em diferentes camadas, cultivado com milho em sistema de plantio direto e convencional. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 33, n. 3, p. 963-978, 2012.

ARATANI; R. G.; MADALOSSO, G.; POMPEU, A. T. Percepção e prática do sistema plantio direto por agricultores mato-grossenses. **Revista de Ciências Agroambientais**, v. 16, n. 1, p. 1-7, 2018.

ARAÚJO, R. S. **Avaliação agronômica de cultivares de sorgo forrageiro no agreste paraibano**. Areia, 2020. 37 f. TCC (Graduação em Zootecnia). Universidade Federal da Paraíba, Areia-PA.

ARAÚJO, A. S. F.; MELO, W. J. Biomassa microbiana do solo. Teresina, **UFPI**, 2012.

BARROS, T. D.; JARDINE, J. G. **Nabo forrageiro**. 2013. Disponível em: <<http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/agroenergia/arvore/CONT000fb123vn002wx5eo0sawqe38tspejq.html>>. Acesso em: 10 set 2022.

BELLON, P. P.; MEINERZ, C. C.; MONDARDO, D.; OLIVEIRA, P. S. R.; DUARTE JÚNIOR, J. B. Influência de doses de dejetos suínos na produção de matéria seca do milheto (*Pennisetum glaucum*). **Synergismus Scientifica**, v. 4, p. 12-20, 2009.

BRADLEY, V. L.; GUENTHNER, R. L.; JOHNSON, R. C.; HANNAN, R. M., 1999. Evaluation of safflower germplasm for ornamental use. In: **Perspectives on new crops and new uses**. Editora J. Janick, ASHS Press, Alexandria, p. 433-435.

BRAMBILLA, J. A.; LANGE, A.; BUCHELT, A. C.; MASSAROTO, J. A. Produtividade de milho safrinha no sistema de integração lavourapecuária, na região de Sorriso. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 8, p. 263-274, 2009.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para Análise de Sementes**. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. Brasília, DF: Mapa/ACS, 2009. 398p.

CALEGARI, A. **Rotação de culturas e uso de plantas de cobertura**. Revista Agroecologia Hoje, ano II, n.14, maio a junho de 2002 – Botucatu - SP.

CANALLI, L. B. S.; BORDIN, I. Rotação de culturas. In: BERTOL, O. J. et al. (Org.). Manual de manejo e conservação do solo e da água para o estado do Paraná. 1ed. Ponta Grossa: NEPAR/SBCS, 2019, v. 1, p. 29-32.

CARNEIRO, M. A. C.; CORDEIRO, M. A. S.; ASSIS, P. C. R.; MORAES, E. S.; PEREIRA, H. S.; PAULINO, H. B.; SOUZA, E. D. Produção de fitomassa de diferentes espécies de cobertura e suas alterações na atividade microbiana de solo de cerrado. **Bragantia**, v. 67, n. 2, p. 455-462, 2008. <http://www.scielo.br/pdf/brag/v67n2/a21v67n2.pdf>

CASTRO, G. S. A.; CRUSCIOL, C. A. C.; NEGRISOLI, E.; PERIM, L. Sistemas de produção de grãos e incidência de plantas daninhas. **Planta Daninha**, v. 29, p. 1001-1010, 2011.

CECAGNO, D. **Carbono Orgânico do solo em sistema integrado de produção agropecuária**. 2015, 70 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo). Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRJ. Porto Alegre-RS.

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, p. 204-212. 2013.

CONAB, 2022. Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento safra brasileira de grãos 10º levantamento de safra**. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos>>. Acesso em: jun 2022.

CORTEZ, J. W.; FURLANI, C. E. A.; SILVA, R. P.; GROTTA, D. C. C. **Produção de massa por culturas implantadas em rotação no SPD de soja e milho**. 2008. Disponível em: http://www.plantiodireto.com.br/?body=cont_int&id=879. Acesso em 26 jun 2022.

COSTA, N. R.; ANDREOTTI, M.; LOPES, K. S. M.; YOKOBATAKE, K. L.; FERREIRA, J. P.; PARIZ, C. M. BONINI, C. S. B.; LONGHINI, V. Z. Atributos do Solo e Acúmulo de Carbono na Integração Lavoura-Pecuária em Sistema Plantio Direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, p. 852-863, 2015.

CUNHA, T. J.; MENDES, A. M. S.; IONGO, V. **Matéria orgânica do solo**. NUNES, R. R.; REZENDE, M. O. O. (Ed.). Recurso solo: propriedades e usos. São Carlos, Brasil: Cubo. 2015.

DAJUE, L.; MÜNDEL, H. Safflower. *Carthamus tinctorius* L. Promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops.7. **Institute of lant Genetics and Crop Plant Research**, Gatersleben/International Plant Genetic. 2002.

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. 72p. (Documentos /Embrapa Soja, 342).

DOURADO, M. C.; SILVA, T. R. B.; BOLONHEZI, A. C. Matéria seca e produção de grãos de *Crotalaria juncea* L. submetida à poda e adubação fosfatada. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 58, n. 2, p. 287-293, 2001.

EMBRAPA. Sistemas de Produção: **Cultivo do milho**. 5ª ed. Set. 2009.

ENSINAS, S. C. **Culturas de cobertura isoladas e/ou consorciadas na produção de massa seca, produtividade de milho e soja, atributos químicos e matéria orgânica do solo**. 2015. 98 f. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) - Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados-MS.

ENSINAS, S. C.; SERRA, A. P.; MARCHETTI, M. E.; DA SILVA, E. F.; LOURENTE, E. R. P.; DO PRADO, E. A. F.; MATOS, F. A.; ALTOMAR, P. H.; MARTINEZ, M. A.; POTRICH, D. C.; DO AMARAL CONVARD, V.; JESUS, M. V.; EL KADRI, T. C. Cover crops affect the soil chemical properties under no-till system. **Australian Journal of Crop Science**, v. 10, n.8, p. 1104-1111, 2016. DOI: 10.21475/ajcs.2016.10.08.p7408

FAGUNDES, M. O.; REIS, D. A.; PORTELLA, R. B.; PERINA, F. J.; BOGIANI, J. C. Qualidade de um latossolo sob plantio convencional e sistema plantio direto no cerrado baiano, Brasil. **Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais**, v.10, n.3, p.281- 297, 2019.

FAO. **Status of the World's Soil Resources: Main Report**. Rome, 2015. 648 p. Disponível em: <<http://www.fao.org/3/a-i5199e.pdf>>. Acesso em: 10 out. 2022.

FERNANDES, M. F.; BARRETO, A. C.; EMÍDIO FILHO, J. **Fitomassa de adubos verdes e controle de plantas daninhas em diferentes densidades populacionais de leguminosas**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 34, n. 9, p.1593-1600, 1999.

FERRAZZA, J. M.; SOARES, A. B.; MARTIN, T. N.; ASSMANN, A. L.; MIGLIORINI, F.; NICOLA, V. Dinâmica de produção de forragem de gramíneas anuais de inverno em diferentes épocas de semeadura. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 43, n. 7, p. 1174-1181, 2013.

FIETZ, C. R.; FISCH, G. F. **O Clima da Região de Dourados, MS**. Embrapa (MS). 2. ed. 2008. Dourados, 2008. 32 p. (Documentos 92).

FONTANELI, R. S.; SANTOS, H. P.; FONTANELI, R. S.; **Forrageiras para Integração Lavoura-Pecuária-Floresta na Região Sul-Brasileira**. Passo Fundo, RS: Embrapa Trigo, 2009, 340p.

FRANCA, A. M. **Produtividade da soja em diferentes níveis de cobertura vegetal**. Dourados, 2018. 31 f. TCC (Graduação em Agronomia). Faculdade de Ciências Agrárias – Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados-MS.

FRANCHINI, J. C.; COSTA, J. M.; DEBIASI, H.; TORRES, E. **Importância da rotação de culturas para produção agrícola sustentável no Paraná**. Embrapa Soja: Londrina: Embrapa Soja. Documento/Embrapa Soja IS SN 1516-781X; n 327), 2011, 52p.

FRANCHINI, R. G. **Rotação de culturas com oleaginosas e gramíneas na produção de soja e milho**. 2014. 99f Dissertação (Doutorado em Produção Vegetal) – Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados-MS.

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

FREITAS, M. E. **Rotação e sucessão de culturas com ênfase em oleaginosas de outono-inverno em plantio direto**. 2014. 83f Dissertação (Doutorado em Produção Vegetal) - Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados-MS.

GONÇALVES, F. M. F.; PORTO, P. P.; SILVA, R. M. G.; MELLO-PEIXOTO, E. C. T. Trigo mourisco: perspectivas de utilização na agropecuária. **Biológico**, v. 76, n. 2, p. 79-155, 2014.

GORDIN, C. R. B.; MARQUES, R. F.; MASETTO, T. E.; SCALON, S. P. Q. Germinação, biometria de sementes e morfologia de plântulas de *Guizotia abyssinica* Cass. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 34, n 4 p. 619-627,2012.

GORGEN, A. V. **Produtividade e qualidade da forragem de milheto (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br) e de trigo mourisco (*Fagopyrum esculentum*. Moench) cultivado no Cerrado**. Brasília, 2013. 49 f. TCC (Graduação em Agronomia). Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária – Universidade de Brasília, Brasília-DF.

JANUSCKIEWICZ, E. R.; RAPOSO, E.; MARTINS, B. M. P. R.; MAGALHÃES, M. A.; PANOSSO, A. R.; MELO, G. M. P.; RUGGIERI, A. Atividade enzimática de solo de pastos de *Brachiaria* manejados sob ofertas de forragem. **Boletim de Indústria Animal**, Nova Odessa, v. 76, p. 1-12, 2019.

LATATI, M.; BARGAZ, A.; BELARBI, B.; LAZALI, M.; BENLAHRECH, S.; TELLAH, S.; KACI, G.; DREVON, J.; OUNANE, S. M. The intercropping common bean with maize improves the rhizobial efficiency, resource use and grain yield under low phosphorus availability. **European journal of agronomy**, v. 72, p. 80-90, 2016.

LEAL, A. J. F.; LAZARINI, E.; TARSITANO, M. A. A. SÁ, M. E. de; GOMES JUNIOR, F. G. Viabilidade Econômica da Rotação de Culturas e Adubos Verdes Antecedendo o Cultivo do Milho em Sistema plantio direto em Solo de Cerrado. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 4, n. 3, p. 298-307, 2005.

LEGAZ, B. V.; SOUZA, D. M.; TEIXEIRA, R. F. M.; ANTÓN, A.; PUTMAN, B.; SALA, S. Soil quality, properties, and functions in life cycle a assessment: an evaluation of models. **Journal of Cleaner Production**, Amsterdam, v. 140, p. 502-515, 2017.

LEITE, W. D. S., PAVAN, B. E., MATOS FILHO, C. H. A., FEITOSA, F. S., & de OLIVEIRA, C. B. Estimativas de parâmetros genéticos e correlações entre caracteres agrônômicos em genótipos de soja. **Nativa**, Sinop, v. 03, n. 04, p. 241-245, 2015.

LI, Y.; CHANG, S. X.; LIHUA, T.; QINGPING. Z. Conservation agriculture practices increase soil microbial biomass carbon and nitrogen in agricultural soils: A global meta-analysis. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 121, 2018.

LOPES, A. A. D. C.; SOUZA, D. M. G.; CHAER, G. M.; REIS JUNIOR, F. B.; GOEDERT, W. J.; MENDES, I. C. Interpretation of Microbial Soil Indicators as a Function of Crop Yield and Organic Carbon. **Soil Science Society of American Journal**, 2013.

LOPES, A. S.; WIETHÖLTER, S.; GUILHERME, L. R. G.; SILVA, C. A. **Sistema plantio direto: bases para o manejo da fertilidade do solo**. São Paulo: Associação Nacional para Difusão de Adubos, 2004. 115p.

LOURENTE, E. R. P.; MERCANTE, F. M.; MARCHETTI, M. E.; SOUZA, L. C. F.; SOUZA, C. M. A.; GONÇALVES, M. C.; SILVA, M. A. G. Rotação de culturas e relações com atributos químicos e microbiológicos do solo e produtividade do milho. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 31, n. 4, p. 829-842, 2010.

MAIA, C. M. B. de F.; PARRON, L. M. Matéria orgânica como indicador da qualidade do solo e da prestação de serviços ambientais. In: PARRON, L. M.; GARCIA, J. R.; OLIVEIRA, E. B. de; BROWN, G. G.; PRADO, R. B. (Ed.). **Serviços ambientais em sistemas agrícolas e florestais do Bioma Mata Atlântica**. Brasília, DF: Embrapa, 2015. p. 101 – 108.

MARCANTE, N. C.; CAMACHO, M. A.; PAREDES, F. P. J. Teores de nutrientes no milheto como cobertura de solo. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 27, n. 2, p. 196-204, 2011.

MARTINEZ-SALGADO, M. M.; GUTIERREZ-ROMERO, V.; JANNSENS, M.; ORTEGA-BLU, R. Biological soil quality indicators: a review. In: MENDEZ-VILAS, A. (Ed.). **Current research, technology and education topics in applied microbiology and microbial biotechnology**. Formatex Research Center. Extremadura: Formatex Research Center, 2010. p. 319–328.

MECHI, I. A. **Atributos químicos do solo, produtividade da soja e infestação de plantas daninhas em função de anos de milho consorciado com *Brachiaria ruziziensis***. Dourados, 2017. 52 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Faculdade de Ciências Agrárias – Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados-MS.

MENDES, I. C.; SOUZA, D. M. G.; REIS JUNIOR, F. B.; CASTRO LOPES, A. A. Bioanálise de solo: como acessar e interpretar a saúde do solo. **Embrapa Cerrados**, Planaltina, DF, 2018.

MENDES, I. C.; CHAER, G. M.; REIS JUNIOR, F. B.; SOUZA, D. M. G.; DANTAS, O. D.; OLIVEIRA, M. I. L.; MALAQUIAS, J. V. Tecnologia BioAS: uma maneira simples e eficiente de avaliar a saúde do solo. **Embrapa Cerrados**, et al. Planaltina, DF, 2021.

MENDES, I. C.; SOUSA, D. M. G.; REIS JUNIOR, F. B.; LOPES, A. A. C. Indicadores de qualidade biológica para manejo sustentável de solos arenosos. **Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, v. 44, p. 20-25, 2018.

MENDES, I. C.; SOUSA, D. M. G.; REIS JUNIOR, F. B.; LOPES, A. A. C.; SOUZA, L. M. Bioanálise de solo: aspectos teóricos e práticos. **Tópicos em Ciência do Solo**, v. 10, p. 399- 462, 2019.

MENDES, I. C. CHAER, G. M.; SOUZA, D. M.G.; REIS JUNIOR, F.B.; DANTAS, O.D.; OLIVEIRA, M. I. L.; LOPES, A. A. C.; SOUZA, L. M. Bioanálise de solo: a mais nova aliada para a produtividade agrícola. **Informações agronômicas NPCT – Nutrição de Plantas Ciência e Tecnologia**, Piracicaba-SP, n. 8, ed. Dezembro, 2020.

MENDONÇA, V. Z.; MELLO, L. M. M.; ANDREOTTI, M.; PARIZ, C. M.; YANO, E. H.; PEREIRA, F.C. B. L. Liberação de nutrientes da palhada de forrageiras consorciadas com milho e sucessão com soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, p. 183-193, 2015.

MICHELON, C. J.; JUNGES, E.; CASALI, C. A.; PELLEGRINI, J. B. R.; ROSA NETO, L.; OLIVEIRA, Z. B. de; OLIVEIRA, M. B. de. Atributos do solo e produtividade do milho cultivado em sucessão a plantas de cobertura de inverno. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lages, v. 18, n. 2, p. 230-239, 2019.

MOTTER, P.; ALMEIDA, H. G. (coords); VALLE, D.; MELLO, I. **Plantio direto: A tecnologia que revolucionou a agricultura brasileira**. Parque Itaipu. Foz do Iguaçu - PR. 2015, 144 p.

MUÑOZ-ROJAS, M. Soil quality indicators: critical tools in ecosystem restoration. **Current Opinion in Environmental Science & Health**, v. 5, p. 47-52, 2018.

NEVES, J. F. **Impacto de sistemas de culturas em atributos do solo e produção de soja em plantio direto**. Dourados, 2021. 87 f. Tese (Doutorado em Produção Vegetal). Faculdade de Ciências Agrárias – Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados-MS.

NUNES, U. R.; ANDRADE JÚNIOR, V. C. A.; SILVA, E. B.; SANTOS, N. F.; COSTA, H. A. O.; FERREIRA, C. A. Produção de palhada de plantas de cobertura e rendimento do feijão em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, p. 943-948, 2006.

OLIVEIRA, M. S. P.; DUARTE, J. C.; DANTAS, P. I. K.; FREITAS, C. E. de M.; de ASSIS, R. L.; TORRES, J. L. R. Desempenho de consórcio de crotalária e milheto em camadas compactadas de solo. In: XXXV CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO. O SOLO E SUAS MULTIPLAS FUNÇÕES, 2015, Natal, RN. **Anais**, 1-4.

OLIVEIRA, P.; NASCENTE, A. S.; KLUTHCOUSKI, J. Soybean growth and yield under cover crops. **Revista Ceres**, v. 60, n. 2, p. 249-256, 2013. Doi: <https://doi.org/10.1590/S0034-737X2013000200014>

PACHECO, L. P.; SÃO MIGUEL, A. S. D. C.; SILVA, R. G.; SOUZA, E. D.; PETTER, F. A.; KAPPES, K. Biomass yield in production systems of soybean sown in succession to annual crops and cover crops. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 52, n. 8, p. 582-591, 2017. Doi: <https://doi.org/10.1590/s0100-204x2017000800003>

PASSOS, S. R.; REIS JUNIOR, F. B.; RUMJANEK, N. G; MENDES, I. C.; BAPTISTA, M. J.; XAVIER, G. R. Atividade enzimática e perfil da comunidade bacteriana em solo submetido à solarização e biofumigação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 43, n. 7, p. 879-885, 2008.

PEDROSO, F. F. **Desempenho agrônomico da soja em sucessão de culturas com espécies oleaginosas**. Dourados, 2011. 39 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia).

Faculdade de Ciências Agrárias – Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados-MS.

PEREIRA, A. J.; GUERRA, J. G. M.; MOREIRA, V. F.; TEIXEIRA, M. G.; URQUIAGA, S.; POLIDORO, J. C.; ESPINDOLA, J. A. A. **Desempenho agrônomo de *Crotalaria juncea* em diferentes arranjos populacionais e épocas do ano.** Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2005. 4 p. (Comunicado Técnico, 82).

PIATTI, G. L. **Atributos físicos do solo e características agrônômicas da soja em sistemas de sucessão e rotação de culturas.** Dourados, 2022. 61 f. Tese (Doutorado em Produção Vegetal). Faculdade de Ciências Agrárias – Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados-MS.

PILLETTI, L. M. M. da S. **Desempenho agrônomo de milho e soja em diferentes sistemas de rotação de culturas.** Dourados, 2016. 76 f. Tese (Doutorado em Produção Vegetal). Faculdade de Ciências Agrárias – Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados-MS.

PITTELKOW, F. K.; SCARAMUZZA, J. F.; WEBER, O. L. S.; MARASCHIN, L.; VALADÃO, F. C. A.; OLIVEIRA, E. S. Produção de biomassa e acúmulo de nutrientes em plantas de cobertura sob diferentes sistemas de preparo do solo. **Revisita Agrarian**, v. 5, n. 17, p. 212-222, 2012.

RIBEIRO, J. P. M. **Produção, acúmulo e decomposição de fitomassa em sistemas de produção de soja sob plantio direto.** Rondonópolis, 2019. 29 f. TCC (Graduação em Engenharia Agrícola e Ambiental). Universidade Federal de Mato Grosso do Sul – Instituto de Ciências Agrárias e Tecnológicas, Rondonópolis-MT.

RIBEIRO, L. M. **Produtividade da soja e atributos químicos e físicos do solo em plantio direto após cultivos de outono-inverno.** Dourados, 2016. 69 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Faculdade de Ciências Agrárias – Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados-MS.

RIZZARDI, M. A.; SILVA, L. F. Influência das coberturas vegetais antecessoras de aveia-preta e nabo forrageiro na época de controle de plantas daninhas em milho. **Planta Daninha**, v. 24, n. 4, p. 669-675, dez. 2006.

RODRIGUES, G. B.; SÁ, M. E. D., VALÉRIO FILHO, W. V.; BUZETTI, S.; BERTOLIN, D. C., & PINA, T. P. (2012). Matéria e nutrientes da parte aérea de adubos verdes em cultivos exclusivo e consorciado. **Revista Ceres**, 59(3),380-385.

SÁ, J. C. M.; SÉGUY, L.; TIVET, F.; LAL, R.; BOUZINAC, S.; BORSZOWSKI, P. R.; BRIEDIS, C.; DOS SANTOS, J. B.; DA CRUZ HARTMAN, D.; BERTOLONI, C. G.; ROSA, J.; FRIEDRICH, T. Carbon Depletion by Plowing and its Restoration by No-Till Cropping Systems in Oxisols of Subtropical and Tropical Agro-Ecoregions in Brazil. **Land Degradation & Development**, v. 26, n. 6, p. 531-543, 2015.

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

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

SECRETI, M. L. **Aporte de carbono ao solo por sistemas de monocultura, sucessão e rotação de culturas**. Dourados, 2017. 74 f. Tese (Doutorado em Produção Vegetal). Faculdade de Ciências Agrárias – Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados-MS.

SEPROTEC. **Plantas de cobertura de solo**. 2011. Disponível em: <http://www.seprotec.com.br/produtos_cobertura_ervilhaca.asp> Acesso em: 26 de jun de 2022.

SILVA, F. C. (Ed.). **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília: EMBRAPA, 2009.

SILVA, G. B. P. Conhecendo o trigo mourisco, Instituto agro excelência no agronegócio. Disponível em: <https://institutoagro.com.br>. Acesso em 30 set 2022.

SILVA, M. P. et al. Plantas de cobertura e qualidade química e física de Latossolo Vermelho distrófico sob plantio direto. Agrária - **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 12, n. 1, p. 60-67, 2017.

SILVA, M. G.; ARF, O.; ALVES, M. C.; BUZETTI, S. Sucessão de culturas e sua influência nas propriedades físicas do solo e na produtividade do feijoeiro de inverno irrigado, em diferentes sistemas de manejo do solo. **Bragantia**, Campinas, v. 67, n.2, p. 335- 347, 2008.

SILVA, P. R. F.; ARGENTA, G.; SANGOI, L.; STRIEDER, M. L.; SILVA, A. A. Estratégias de manejo de coberturas de solo no inverno para cultivo do milho em sucessão no sistema semeadura direta. **Ciência Rural**, v. 36, n. 3, p. 1011-1020, 2006. Doi: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782006000300049>

SOBRAL, L. F.; BARRETO, M. C. V.; SILVA, A. J.; ANJOS, J. L. **Guia prático para interpretação de resultados de análises de solos**. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2015. 13 p.

SOUSA, S. F. G. **Avaliação da cultura do milho e da decomposição da palhada submetida à Hormesis**. 2013.64 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) -Universidade Estadual Paulista –Botucatu, 2013.

SOUZA, L. S. et al. **Adubação verde na física do solo**. In: LIMA FILHO OF et al. Adubação verde e plantas de cobertura no Brasil: fundamentos e prática. 1.ed. Brasília: Embrapa, 2014. p. 337-369.

SOUZA, C. A.; FIGUEIREDO, B. P.; COELHO, C. M. M.; CASA, R. T.; SANGOI, L. Arquitetura de plantas e produtividade da soja decorrente do uso de redutores de crescimento. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 29, p. 634-643. 2013.

SOUZA, L. C. F.; PEDROSO, F. F.; PILETTI, L. M. M. S.; SECRETI, M. L. Desempenho agrônômico da soja em sucessão de culturas com espécies de oleaginosas.

Journal of Agronomic Sciences, Umuarama, v. 4, p. 112-126, 2015.

SOUZA, L. M. D. E.; CHAER, G. M. Bioanálise de solo: aspectos. **Tópicos em Ciências do Solo**, 2019.

SOUZA, M. F. P. **Plantas de cobertura e doses de fósforo sobre os atributos químicos e biológicos do solo**. 2012. 87 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho”, Ilha Solteira-SP.

SUTTIE, J. M.; REYNOLDS, S. G. Background to fodder oats worldwide (Chapter I) In: SUTTIE, J. M.; REYNOLDS, S. G. **Fodder oats: a world overview**. Plant Production and Protection Series, n. 33, Food and Agriculture Organization of the United Nation, Roma: FAO, 2004.

Tecnologia BioAS: padrões de laudos e suas interpretações. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2021.

TEIXEIRA, M. B.; LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; PIMENTEL, C. Decomposição e liberação de nutrientes da parte aérea de plantas de milheto e sorgo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, n. 3, p. 867-876.35, 2011.

TIMOSSI, P. C.; DURIGAN, J. C.; LEITE, G. J. Formação de palhada por braquiárias para adoção do sistema plantio direto. **Bragantia**, v. 66, p. 617-622, 2007.

TORRES, J. L. R.; PEREIRA, M. G.; RODRIGUES JUNIOR, D. J.; ARCÂNGELO P. Production, decomposition of residues and yield of maize and soybeans grown on cover crops. **Revista Ciência e Agrônômica**, v. 46, n. 3, p. 451-459, 2015b. Doi: <https://doi.org/10.5935/1806-6690.20150026>

USDA (UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE), **World corn supply and use. World agricultural supply and demand estimates**. Disponível em: <https://www.usda.gov/oce/commodity/wasde>. Acesso em: 15 jun 2022.

VAN DEN PUTTE, A.; GOVERS, G.; DIELS, J.; GILLIJNS, K.; DEMUZERE, M. Assessing the effect of soil tillage on crop growth: A meta-regression analysis on European crop yields under conservation agriculture. **European Journal of Agronomy**, v. 33, p. 231–241, 2010. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.eja.2010.05.008>

WENZEL, B. J. **Indicadores físicos do solo e desempenho da cultura do trigo sob diferentes plantas de cobertura**. Cerro Largo, 2022. 47 f. TCC (Graduação em Agronomia). Universidade Federal da Fronteira Sul, Cerro Largo-RS.

ANEXOS



Anexo I: Imagem aérea do experimento no inverno de 2022, UFGD, Dourados – MS, 2022.



Anexo II: Fotos da coleta de massa seca (A e B). UFGD, Dourados, MS, 2022.