

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE ENGENHARIA
CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA**

MARIANA MOREIRA MELERO

**PLANTIO DIRETO NO CERRADO: Características Agronômicas da soja sob
influência da calagem, culturas de cobertura e residual de adubação
nitrogenada**

Ilha Solteira
2023

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

MARIANA MOREIRA MELERO

PLANTIO DIRETO NO CERRADO: Características Agronômicas da soja sob influência da calagem, culturas de cobertura e adubação nitrogenada

Tese apresentada à Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira – UNESP como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutora em Agronomia. Especialidade: Sistemas de Produção

Prof. Dr. Edson Lazarini
Orientador

Ilha Solteira
2023

FICHA CATALOGRÁFICA

Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

M519p Melero, Mariana Moreira.
Plantio direto no cerrado: características agrônômicas da soja sob influência da calagem, culturas de cobertura e adubação nitrogenada / Mariana Moreira Melero. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2023
60 f.

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Área de conhecimento: Sistemas de Produção, 2023

Orientador: Edson Lazarini
Coorientadora: Regina Maria Monteiro de Castilho
Inclui bibliografia

1. Crotalaria. 2. Milheto. 3. Nitrogênio. 4. Calcário. 5. Sistema plantio direto.


Rajane da Silva Santos

Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação
Diretoria Técnica de Biblioteca e Documentação
CSL/9 - 9999



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Ilha Solteira

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA TESE: PLANTIO DIRETO NO CERRADO: Características Agronômicas de soja sob influência da calagem, culturas de cobertura e residual de adubação nitrogenada

AUTORA: MARIANA MOREIRA MELERO

ORIENTADOR: EDSON LAZARINI

COORDINADORA: REGINA MARIA MONTEIRO DE CASTILHO

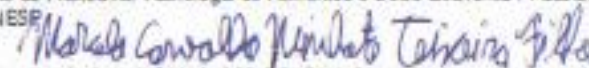
Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Doutora em AGRONOMIA, área: Sistemas de Produção pela Comissão Examinadora:


Prof. Dr. EDSON LAZARINI (Participação Virtual)

Departamento de Fitotecnia, Tecnologia de Alimentos e Sódio Economia / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira - UNESP


Prof. Dr. MARCO EUSTAQUIO DE SA (Participação Virtual)

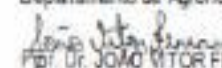
Departamento de Fitotecnia, Tecnologia de Alimentos e Sódio Economia / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira - UNESP


Prof. Dr. MARCELO CARVALHO MINHOTO TEIXEIRA FILHO (Participação Virtual)

Departamento de Fitossanidade / FEIS UNESP Ilha Solteira


Prof. Dr. FLAVIO HIROSHI KANEKO (Participação Virtual)

Departamento de Agronomia / Universidade Federal do Triângulo Mineiro - UFTM


Prof. Dr. JOÃO VITOR FERRARI (Participação Virtual)

Coordenadoria de Assistência Técnica Integral (CATI)

Ilha Solteira, 24 de fevereiro de 2023

DEDICATÓRIA

*A minha família, que me incentivou todos
os dias e ofereceu apoio nos momentos
críticos.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, primeiramente, por me mostrar o caminho, me amparando e conduzindo até esse momento.

Gratidão pelos meus pais, Eder e Sandra, sua presença e amor incondicional na minha vida sempre. Este trabalho é a prova de que os esforços deles pela minha educação não foram em vão e, valeram a pena.

Agradeço ao meu irmão, Júnior e minha tia, Sonia Bezerra, pela amizade e atenção dedicadas quando sempre precisei.

Ao meu noivo Arthur, que acima de tudo é um grande amigo, sempre presente em todos os momentos, sejam eles quais forem, sempre com uma palavra de incentivo.

Ao meu orientador Edson Lazarini, que apesar da intensa rotina de sua vida acadêmica aceitou me orientar no presente trabalho. As suas valiosas indicações fizeram toda a diferença.

Também quero agradecer à CAPES, pelo financiamento e FEIS - UNESP e o seu corpo docente que demonstrou estar comprometido com a qualidade e excelência do ensino.

Por último e não menos importante, agradeço a todos os funcionários dessa Universidade, que contribuíram direta e indiretamente para a conclusão deste trabalho.

RESUMO

Em áreas do Cerrado, o Sistema Plantio Direto (SPD) consolidou-se como uma prática conservacionista de melhoria dos atributos do solo por meio da manutenção de palhada na superfície do solo e com isso, proporcionar aumento no rendimento das culturas. Contudo, há várias dúvidas sobre a combinação desse sistema com a calagem, doses de N e culturas de cobertura sobre o solo e desenvolvimento da soja. Assim, o objetivo desse trabalho foi avaliar o efeito residual da calagem, doses de nitrogênio e a cultura de cobertura nos atributos do solo, características agronômicas e produtividade de grãos da soja, em SPD consolidado, em região de Cerrado. O delineamento experimental utilizado foi o em blocos casualizados com os tratamentos dispostos em esquema fatorial 5x2x3, com três repetições. As parcelas continham 5 m de largura e 12 m de comprimento. O calcário foi aplicado em 2001, 2007, 2012 e 2017, perfazendo um total de (T1) 6,92; (T2) 11,44; (T3) 7,73; (T4) 10,63 e (T5) 0,81 t ha⁻¹. No ano de 2020, foi realizada uma nova reaplicação de calcário, aplicando respectivamente nos tratamentos T1 e T3, 1,13 t ha⁻¹, nos tratamentos T2 e T4, 2,26 t ha⁻¹ e no tratamento T5, 0 t ha⁻¹, acrescido para os tratamentos T3 e T4, 1,7 t ha⁻¹ de gesso. Portanto, o total de calcário aplicado no período de 2001 a 2020 foi 8.05, 13.70, 8.86, 12.89 e 0.81, respectivamente para os tratamentos T1, T2, T3, T4 e T5 e 3.4 t ha⁻¹ de gesso, nos tratamentos T3 e T4. As plantas de cobertura, milheto e crotalária, foram mantidas, sempre na primavera e, as doses de N utilizadas, foram 0, 90 e 180 kg ha⁻¹, quando do cultivo da cultura do milho, utilizando como fonte a ureia. A cultivar de soja utilizada foi TMG 7063 IPRO, semeada em dezembro/19 e novembro/2020, no espaçamento de 0,45 m. Através dos resultados obtidos concluiu-se que, a aplicação do calcário aumentou o pH do solo; os teores de Cu e Mn nas folhas de soja foram reduzidos com a aplicação de calagem e aumentados com aplicação de N; a crotalária possibilitou maior acidificação do solo, além de proporcionar maior disponibilidade de nutrientes na soja e a produtividade da soja foi aumentada com a aplicação de calcário e utilização de crotalária como cultura de cobertura.

Palavras-chave: Crotalária; milheto; nitrogênio; calcário; sistema plantio direto.

ABSTRACT

In areas of the Cerrado, the No-Tillage System has established itself as a conservationist practice for improving soil properties by maintaining straw on the soil surface and thereby providing an increase in crop yields. However, there are several doubts about the combination of this system with liming, N doses and cover crops on the soil and soybean development. In this sense, the objective of this work was to evaluate the residual effect of liming, nitrogen doses and cover crop on soil chemical characteristics, agronomic characteristics and soybean grain yield, in consolidated NTS, in the Cerrado region. The experimental design used was randomized blocks with treatments arranged in a 5x2x3 factorial scheme, with three replications. Plots were 5 m wide and 12 m long. The limestone was applied in 2001, 2007, 2012 and 2017, making a total of (T1) 6.92; (T2) 11.44; (T3) 7.73; (T4) 10.63 and (T5) 0.81 t ha⁻¹. In 2020, a new limestone reapplication was carried out, applying 1.13 t ha⁻¹ in treatments T1 and T3, respectively, in treatments T2 and T4, 2.26 t ha⁻¹ and in treatment T5, 0 t ha⁻¹, plus for treatments T3 and T4, 1.7 t ha⁻¹ of gypsum. Therefore, the total limestone applied in the period from 2001 to 2020 was 8.05, 13.70, 8.86, 12.89 and 0.81, respectively for treatments T1, T2, T3, T4 and T5 and 3.4 t ha⁻¹ of gypsum, in treatments T3 and T4. The cover plants were maintained, always in the spring, and the N doses used annually were 0, 90 and 180 kg ha⁻¹, when growing the corn crop, using urea as a source. The soybean cultivar used was TMG 7063 IPRO, which was sown in December/19 and November/2020, at a spacing of 0.45 m. Through the results obtained, it was concluded that the application of limestone increased the pH of the soil; Cu and Mn contents in soybean leaves were reduced with liming and increased with N application; sunn hemp allowed greater soil acidification, in addition to providing greater availability of nutrients in soybeans and soybean productivity was increased with the application of limestone and use of sunn hemp as a cover crop.

Key words: sunn hemp; millet; nitrogen; limestone; no tillage system.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Resultados da análise química da amostra de solo da área experimental. Selvíria-MS, 2000.	22
Tabela 2	Valores de F e médias de massa da matéria seca (MSPC) e teor de nitrogênio nas plantas de cobertura em função de doses de calcário e gesso e residual de doses de N. Selvíria – MS, 2020/2021.	30
Tabela 3	Resumo da análise estatística e médias dos valores de pH e teores de matéria orgânica do solo, em diferentes profundidades de amostragem, em função dos tratamentos. Selvíria – MS, 2020.	31
Tabela 4	Resumo da análise estatística e médias de H+Al, e dos teores de Al e enxofre (S) no solo, em diferentes profundidades de amostragem, em função dos tratamentos. Selvíria – MS, 2020.	34
Tabela 5	Desdobramento da interação calagem (C) x doses de N (D), significativa para os teores de alumínio, na profundidade de 0,0 - 0,10 m. Selvíria – MS, 2020.	38
Tabela 6	Desdobramento da interação calagem (C) x doses de N (D), significativa para os teores de alumínio, na profundidade de 0,10 - 0,20 m. Selvíria – MS, 2020.	38
Tabela 7	Desdobramento das interações calagem (C) x culturas de cobertura (CC), calagem (C) x doses de N (D) e culturas de cobertura (CC) x doses de N (D), para os teores de enxofre no solo (S), na profundidade de 0,0 – 0,10 m. Selvíria – MS, 2020.	39
Tabela 8	Resumo da análise estatística e médias dos teores foliares de N, P, K, Ca, Mg e S, em soja, em função dos tratamentos. Selvíria – MS, 2020.	40
Tabela 9	Resumo da análise estatística e médias dos teores foliares de N, P, K, Ca, Mg e S na soja, em função dos tratamentos. Selvíria – MS, 2021.	41
Tabela 10	Desdobramento da interação culturas de cobertura (CC) x doses de N, significativa para os teores foliares de enxofre, em função dos tratamentos. Selvíria – MS, 2020.	43

Tabela 11. Resumo da análise estatística e médias dos teores foliares de Cu, Mn e Zn, em soja, em função dos tratamentos. Selvíria – MS, 2020/2021.	44
Tabela 12. Desdobramento das interações calagem (C) x culturas de cobertura (CC), para teores foliares de cobre, em função dos tratamentos. Selvíria – MS, 2020.	45
Tabela 13. Desdobramento das interações calagem (C) x culturas de cobertura (CC), calagem (C) x doses de N (D) e culturas de cobertura (CC) x doses de N (D), para os teores de cobre foliar, em função dos tratamentos. Selvíria – MS, 2021.	46
Tabela 14. Desdobramento das interações calagem (C) x culturas de cobertura (CC), calagem (C) x doses de N (D) e culturas de cobertura (CC) x doses de N (D), para os teores de manganês foliar, em função dos tratamentos. Selvíria – MS, 2021.	47
Tabela 15. Resumo da análise estatística e médias de população de plantas, características agronômicas e produtividade de grãos de soja, em função dos tratamentos. Selvíria – MS, safras 2019/20 e 2020/21.	48

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Dados diários de precipitação pluvial (mm), temperaturas médias, máximas e mínimas (°C) referentes à instalação e condução do experimento de abril de 2020 a março de 2021. Selvíria – MS, 2020/21.	21
---	----

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	11
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	13
2.1	Sistema Plantio Direto.....	13
2.2	Culturas de cobertura	14
2.3	Calagem e gessagem no sistema plantio direto	16
2.4	Adubação nitrogenada da soja em sistema plantio direto	18
3	MATERIAL E MÉTODOS	20
3.1	Localização	20
3.2	Histórico da área, delineamento experimental e tratamentos	21
3.3	Avaliações.....	27
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	30
5	CONCLUSÕES.....	50
	REFERÊNCIAS	51

1. INTRODUÇÃO

O Cerrado é o segundo maior bioma do território brasileiro, e a principal área de produção de grãos do país (SOUZA *et al.*, 2016). A maior parte desse bioma (46%) é composta por Latossolos, os quais são caracterizados por baixa fertilidade, alta saturação de alumínio e alta fixação de fósforo (CASTRO; CRUSCIOL, 2013a).

O regime pluviométrico anual do Cerrado consiste em um período de pluviosidade relativamente elevada, seguido por uma estação seca prolongada. Essa sazonalidade das chuvas contribui para um alto intemperismo do solo, ocasionando baixa disponibilidade de nutrientes, considerados os maiores limitantes ao crescimento das plantas e aumento da acidez do solo (HARIDASAN, 2001; PROCÓPIO e BARRETO, 2021). Por outro lado, o alívio da acidez pode desencadear maior desenvolvimento radicular, aumentando a tolerância das plantas ao estresse hídrico durante esse período e disponibilizando nutrientes (CRUSCIOL *et al.*, 2016).

O Sistema Plantio Direto (SPD) tem sido um método bastante utilizado no mundo por seus inúmeros benefícios à estrutura do solo e liberação de nutrientes às culturas (TAVARES *et al.*, 2019). No Brasil, a área agrícola cultivada em SPD aumentou rapidamente para mais de 32 milhões de hectares e o país se tornou um dos principais países do mundo na adoção do SPD (CAIRES *et al.*, 2015).

Um dos principais requisitos para a instalação do SPD é a existência de rotação de culturas, que permitam cobertura de biomassa do solo e alta relação de carbono / nitrogênio (C/N) na safra posterior (OKUMA *et al.*, 2019). Culturas de cobertura como a crotalária (*Crotalaria juncea* L.) e o milheto (*Pennisetum glaucum* L.) têm sido bastante utilizadas nas áreas do Cerrado por aumentar a sustentabilidade do SPD, mas há ainda muitas dúvidas sobre os benefícios dessa combinação (FERRARI NETO *et al.*, 2021).

Em solos cultivados ao longo do tempo em SPD, à aplicação de calcário, pode promover respostas diferentes ao pH do solo, pois esses solos possuem maior teor de matéria orgânica, responsável pela complexação do alumínio do solo (BORTOLINI *et al.*, 2016). A aplicação de calagem é uma prática que permite a correção da acidez do solo pela elevação do pH e

neutralização de elementos tóxicos às plantas (BESEN *et al.*, 2021), como o Al^{+3} .

A cultura da soja, importante commodity brasileira pode ter seu desenvolvimento afetado pela acidez do solo e limitação de nutrientes como o N (JORIS *et al.*, 2013). Contudo, a combinação de SPD com aplicação de calcário superficial pode simultaneamente aliviar a acidez do solo (JORIS *et al.*, 2016). Por sua vez, o fornecimento de N via adubos nitrogenados em SPD deve ser aplicado da maneira correta para evitar perdas por volatilização e também para impossibilitar a perturbação excessiva do solo ao aplicá-lo, principalmente por aumento de acidez (DERPSCH *et al.*, 2014). Em experimento de longa duração, Weber e Mielniczuk (2009), destacaram a importância do estoque residual de N disponível pelas culturas, especialmente as leguminosas.

Neste sentido, para aumentar a sustentabilidade dos sistemas agrícolas sob plantio direto em regiões do Cerrado, é fundamental entender como a calagem superficial, as aplicações de doses de N e as culturas de cobertura podem influenciar sobre as características químicas do solo e o desenvolvimento e rendimento da soja. Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito residual da calagem, doses de nitrogênio e a cultura de cobertura, nos atributos do solo em diferentes profundidades e no comportamento da soja em SPD consolidado, em região de Cerrado.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Sistema Plantio Direto

A maneira como as culturas respondem ao sistema de preparo do solo é difícil de prever, pois, os resultados podem variar em função do microclima, das características do solo e da associação de diferentes práticas, como: os equipamentos utilizados, a quantidade de preparo do solo (revolvimento), a forma de adubação e o controle de plantas daninhas, tais práticas de cultivo convencional nem sempre oferecem um excelente retorno ao produtor. Diante disso, práticas conservacionistas como o sistema plantio direto (SPD) têm sido cada vez mais utilizadas no mundo (RUSU, 2014). Somente no Brasil, mais de 32 milhões de hectares de área de terra são utilizados para cultivo em plantio direto (PEIXOTO *et al.*, 2019).

O SPD tem sido bastante adotado em todo o mundo devido, principalmente, aos seus benefícios à conservação do solo e da água. No Cerrado brasileiro, este tipo de sistema teve início na década de 1980 como uma proposta para diminuir os efeitos ocasionados pela erosão, melhorar a conservação da água e do solo, reduzir o uso de maquinário, combustíveis e os custos de mão de obra, e desse modo, proporcionar a produtividade com maior lucratividade ao agricultor (BOLLIGER *et al.*, 2006; CORBEELS *et al.*, 2016).

Por possibilitar a melhoria do regime hidrológico, o SPD permite maior proteção superficial pela redução da erosão e assim melhora também às propriedades físicas e hidrológicas dos solos (LONDERO *et al.*, 2021). Além disso, a eliminação de preparo do solo por meio da aração e da gradagem do solo propicia a semeadura de uma safra posterior de forma mais rápida e com isso uma significativa economia de combustível em decorrência da redução das operações de campo com trator (ZOTARELLI *et al.*, 2012).

Na implantação do SPD um dos principais requisitos que devem ser levados em consideração é a existência de rotação de culturas, que permita cobertura de biomassa do solo e alta relação de carbono / nitrogênio (C/N) na safra posterior (OKUMA *et al.*, 2019). Esse requisito é importante pois o SPD deve permitir ao longo do tempo, maior aporte de resíduos vegetais e cobertura do solo para intensificar o processo de incorporação e estabilização do C do

solo, assegurando uma importante contribuição no aumento da capacidade produtiva do solo (XAVIER *et al.*, 2019). Com relação ao N, também ocorre um aumento devido a mineralização do N orgânico do solo presente nos resíduos vegetais, principalmente, quando se utiliza plantas leguminosas (WU *et al.*, 2021).

A adoção do sistema de manejo conservacionista SPD, portanto, traz benefícios para a preservação dos recursos naturais, por priorizar a permanência dos resíduos vegetais na superfície e diminuir a movimentação do solo. Além disso, o SPD também aumenta a atividade biológica de microrganismos, o que consequentemente contribui positivamente na qualidade do solo e na rentabilidade da atividade agrícola (CORTEZ *et al.*, 2018). Desse modo, o SPD é uma chave indispensável para possibilitar o desenvolvimento vegetal de forma sustentável, permitindo a reposição e disponibilização de nutrientes como o N, C e P e em contribuições físicas, químicas e biológicas ao solo (MARAFON *et al.*, 2020).

2.2 Culturas de cobertura

No Cerrado brasileiro, um dos grandes obstáculos para a consolidação do SPD é a permanência da cobertura do solo durante todo o ano. Nas regiões em que esse bioma se concentra, o clima se caracteriza por apresentar altas temperaturas e invernos secos, condições ideais para acelerar a decomposição da matéria orgânica e, consequentemente, reduzir a manutenção da palhada nos campos cultivados (PACHECO *et al.*, 2017). Assim, a distribuição contínua e elevada de resíduos vegetais é fundamental para manter a cobertura do solo e assegurar vários benefícios como, o aumento de matéria orgânica e melhoria da estrutura do solo (CANALLI *et al.*, 2020).

Os resíduos vegetais das culturas de cobertura por servirem como uma forma primária de entrada de matéria orgânica permitem maior atividade biológica do solo, conservam a umidade e atenuam os extremos de temperatura do solo. Por outro lado, a ausência de reposição desses resíduos promove baixo desempenho do SPD, justificado pela redução da produtividade da cultura a ser implantada, ocorrência de erosão, perda de água do solo e

baixa infiltração de água, redução da atividade biológica, entre outros (DERPSCH *et al.*, 2014).

No SPD, a utilização de gramíneas e leguminosas como plantas de cobertura é uma das práticas de manejo que mais contribuem para mudanças na dinâmica e acúmulo de frações orgânicas do solo e na ciclagem e manutenção de nutrientes. Leguminosas são bastante plantadas neste tipo de sistema por fornecerem N ao solo e por apresentarem raízes profundas que absorvem nutrientes nas camadas do solo abaixo da zona radicular da maioria das culturas anuais, os quais são transferidos na forma de resíduos vegetais para a superfície do solo (LOSS *et al.*, 2009).

As gramíneas que apresentam sistema radicular profundo e alta produção de biomassa são fundamentais para o fornecimento de nutrientes a longo prazo, principalmente, nas camadas superficiais do solo. Contudo, a composição química é o fator mais decisivo na decomposição do material orgânico vegetal (SANTOS *et al.*, 2014).

Portanto, para que ocorra a viabilização do SPD, é necessário que o agricultor selecione as espécies de leguminosas e gramíneas adequadas, de modo que haja sobra de matéria orgânica acima do solo e ciclagem de nutrientes. Entre as espécies de gramíneas mais recomendadas como cobertura vegetal no Cerrado, o milheto (*Pennisetum glaucum*) é apontado como uma ótima opção (LEAL *et al.*, 2013).

Nos últimos 30 anos, o plantio de milheto como planta de cobertura no Brasil tem sofrido grande expansão, principalmente, quando o SPD é destinado a produção de soja e milho (ASSIS *et al.*, 2018). O sucesso dessa expansão é em decorrência de seu sistema radicular profundo o que possibilita elevada resistência à seca e à característica de alta capacidade de extração de nutrientes. O milheto também possui adaptabilidade a solos de baixo nível de fertilidade e boa capacidade de produção de massa verde e seca. Desse modo, os nutrientes presentes na palhada são reciclados ou liberados aos poucos no solo (PEREIRA FILHO, 2016).

Quando se trata de espécie leguminosa, a crotalária (*Crotalaria juncea*) é uma das mais utilizadas como planta de cobertura devido sua alta produção de biomassa de C e N, baixa relação C/N (SEBEN JUNIOR *et al.*, 2016) e ampla adaptabilidade a variedade de solos. Além disso, é uma leguminosa com

capacidade de fornecer altos teores de N, devido sua associação com bactérias fixadoras de N atmosférico, melhorando assim a ciclagem de nutrientes. Também pode contribuir no controle de plantas daninhas por meio da supressão de sua densidade e de patógenos do solo, como os nematoides, dos quais essa espécie apresenta resistência (SHEKINAH; STUTE, 2018).

De maneira geral, a diversificação de plantas de cobertura, ou seja, leguminosas e gramíneas no SPD melhoram os atributos químicos, físicos e biológicos do solo por apresentarem diferenciados sistemas radiculares que atuam na absorção e ciclagem de nutrientes em porções distintas das camadas do solo, possibilitando a ocorrência de interações rizosféricas com consequências diretas na alocação de nutrientes e na fração orgânica do solo (ARAI *et al.*, 2018).

2.3 Calagem e gessagem no sistema plantio direto

A acidez do solo, ocasionada por seu manejo inadequado, limita o rendimento agrícola de culturas como a soja (*Glycine max* (L.) Merrill), que possui grande importância econômica e social. A toxicidade de alumínio (Al^{3+}) e a deficiência de nutrientes como magnésio (Mg^{2+}), cálcio (Ca^{2+}), fósforo (P) e molibdênio (Mo) ocasionados pela acidificação do solo geralmente interferem no crescimento da soja, reduzindo a sua produtividade (BROWN *et al.*, 2008; FAGERIA e BALIGAR, 2008; TEIXEIRA *et al.*, 2022).

No Brasil, as áreas agrícolas do Cerrado durante muito tempo foram cultivadas sob sistema de plantio convencional (SPC), ou seja, pelo preparo contínuo do solo com aração e gradagem e uso intensivo de fertilizantes e corretivos de acidez do solo. Mesmo após a conversão do SPC para SPD, muitos produtores não realizaram uma avaliação dos atributos químicos do solo e, como consequência, não efetuaram a adequada correção da acidez dos solos dessas áreas (RHEINHEIMER *et al.*, 2018). No SPC, além da degradação física do solo pelo seu preparo intensivo, muitas áreas sofrem com a acidificação do solo pelo uso excessivo de fertilizantes e à redução do teor de matéria orgânica do solo, o que possibilita a liberação de quantidades tóxicas de Al^{3+} (GODSEY *et al.*, 2007; VÁZQUEZ *et al.*, 2020).

Além de alta disponibilidade de Al^{3+} , esses solos também podem apresentar elevada quantidade de manganês (Mn), outro elemento considerado tóxico quando presente em alta disponibilidade. Além disso, normalmente possuem baixa capacidade de troca catiônica (CTC) e saturação por bases (V%), sobretudo nas camadas mais profundas (CRUSCIOL *et al.*, 2019). Para corrigir esse problema, geralmente no SPC, o calcário é incorporado ao solo por aração e gradagem, contudo, essas operações quebram os agregados do solo, expondo-o e aumentando sua suscetibilidade à erosão (BRONICK; LAL, 2005; COSTA; CRUSCIOL, 2020).

Para atenuar esse problema grande parte dos produtores têm migrado para o SPD, por ser um sistema conservacionista e por construir estoques de matéria orgânica no solo (HONTORIA *et al.*, 2018). Devido à complexação do alumínio pela matéria orgânica, nos solos cultivado sob SPD, o aumento do teor de matéria orgânica proporciona em um determinado pH redução de alumínio na solução do solo (EVANS E KAMPRATH, 1970).

Assim, também se faz necessária a utilização de calagem no SPD, porém, ao contrário do SPC, é desempenhada mediante a aplicação superficial do calcário no solo, sem que se efetue a incorporação (CAIRES *et al.*, 1999), quando o SPD está implantado. Como resultado, há um aumento mais rápido do pH do solo pela calagem e presença de matéria orgânica e assim, é obtido também maior retenção de cátions básicos (Ca^{2+} e Mg^{2+}) em função do aumento de cargas elétricas variáveis negativas geradas pela dissociação do H^+ dos grupos hidroxila na superfície dos coloides (CAIRES *et al.*, 2015).

Como o calcário possui pouca ou uma movimentação quase nula, este é mais restrito a uma pequena área ao redor do local de aplicação (CAIRES *et al.*, 2000). Dessa forma, a utilização do gesso agrícola ($\text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$), juntamente com o calcário se tornou uma alternativa viável, visto que disponibiliza cálcio (Ca^{2+}) e enxofre (SO_4^{2-}) em solução e ocorrendo a lixiviação, estes enriquecem as camadas subsuperficiais de nutrientes, além de reduzir a saturação por alumínio (Al^{3+}) em profundidade (CAIRES *et al.*, 2008), onde, também aumenta o desenvolvimento do sistema radicular (ALCARDE *et al.*, 2003). Esta combinação visa compensar o efeito reduzido da ação pontual do calcário, onde temos o gesso atuando nas camadas subsuperficiais e

substituindo a necessidade de incorporação prévia ou revolvimento (CAIRES *et al.*, 2003).

Portanto, identificar alternativas que melhorem os atributos físicos do solo em profundidade no sistema de semeadura direta, por meio da calagem e gessagem, podem vir a viabilizar a permanência, expansão e sucesso desse sistema na agricultura presente nos solos do Cerrado brasileiro (NOGUEIRA *et al.*, 2016).

2.4 Adubação nitrogenada da soja em sistema plantio direto

O N é um elemento fundamental para as plantas, pois sua presença está intimamente relacionada ao desenvolvimento das culturas, produtividade e respostas a estresses (ARUN *et al.*, 2016). Quando se trata da soja, essa importância aumenta, pois, essa espécie é altamente exigente em N, principalmente, devido ao alto teor de proteína e a produção de grãos (ZUFFO *et al.*, 2018), sendo requerido cerca de 80 kg de N ha⁻¹ para produzir 1 Mg de grãos (KASCHUK *et al.*, 2016).

O fornecimento de N a cultura pode ser desempenhado via adubos minerais, porém, normalmente apresentam alto custo por serem aplicados em grandes quantidades devido se perderem rapidamente no ambiente logo que são aplicados e, isso representa risco ao meio ambiente, sobretudo para o solo e água. Além disso, nas últimas décadas, a liberação de N antropogênico para o meio ambiente é maior do que o CO₂. Desse modo, é crucial adoção de práticas mais sustentáveis que disponibilizem N a cultura sem prejudicar o meio ambiente (BATTYE *et al.*, 2017).

Como alternativa, em sistemas conservacionistas como o SPD, duas fontes de N altamente sustentáveis têm sido frequentemente adotadas para supri-lo as culturas: a fixação biológica de N₂ (FBN) pela simbiose das leguminosas de cobertura ou a própria cultura da soja com bactérias fixadoras de N₂ e pelo reservatório total do nutriente no solo. Entretanto, a quantidade de N fornecida pelo solo é muito variável, pois, depende da mineralização da matéria orgânica do solo, da textura do solo, quantidade e qualidade da palha vegetal e do clima regional (PIEROZAN JUNIOR *et al.*, 2020).

A maior fração de N no solo encontra-se na forma orgânica, presente na matéria orgânica em moléculas distintas e variados graus de recalcitrância, ou na composição de organismos vivos. Normalmente, menos de 5% do N total está em formas inorgânicas como íon nitrato (NO_3^-) e íon amônio (NH_4^+), os quais são as formas preferenciais de absorção de N pelas plantas. A disponibilidade dessas formas de N no solo é controlada por dois processos opostos e simultâneos: a mineralização e imobilização de N, os quais ocorrem durante a decomposição de materiais orgânicos desempenhada pela população microbiana heterotrófica (AITA e GIACOMINI, 2007; KAPPES *et al.*, 2013).

Um atributo de qualidade de plantas de cobertura, documentado há muito tempo por seu efeito na mineralização e imobilização de N no solo é a relação C/N (SINGH *et al.*, 2020). Uma relação C/N elevada, por excesso relativo de C orgânico, resulta na imobilização do N no solo, por outro lado, uma relação C/N baixa, por excesso de N, promove a mineralização do N no solo (RAPHAEL *et al.*, 2016). Assim, o conhecimento da mineralização de N a partir de resíduos de culturas de cobertura é fundamental para o planejamento de quantidade suplementar e da época para aplicação de N fertilizante (RIGON *et al.*, 2020).

Por outro lado, uma maior distribuição de matéria orgânica na camada superficial do solo, por exemplo, pode levar a uma maior quantidade de N mineralizado a ser absorvido pelas plantas e reduzir as necessidades de fertilizantes de N, sem interferir nos rendimentos das culturas (VERZEAUX *et al.*, 2016). Desse modo, o uso de plantas de cobertura com alto volume de palha e raízes é tão importante quanto a ausência de preparo do solo para incrementar o teor de N do solo (SILVA *et al.*, 2020).

Assim, o conhecimento da participação de N, dos compostos orgânicos como lignina e da composição química das espécies de cobertura a serem utilizadas no SPD, é fundamental para identificar as proporções de N e quais frações orgânicas estão sendo formadas no solo, de modo que, quando a cultura agrícola for implantada, seja analisado se haverá a necessidade de suplementação de N, via fertilizantes (SANTOS *et al.*, 2014).

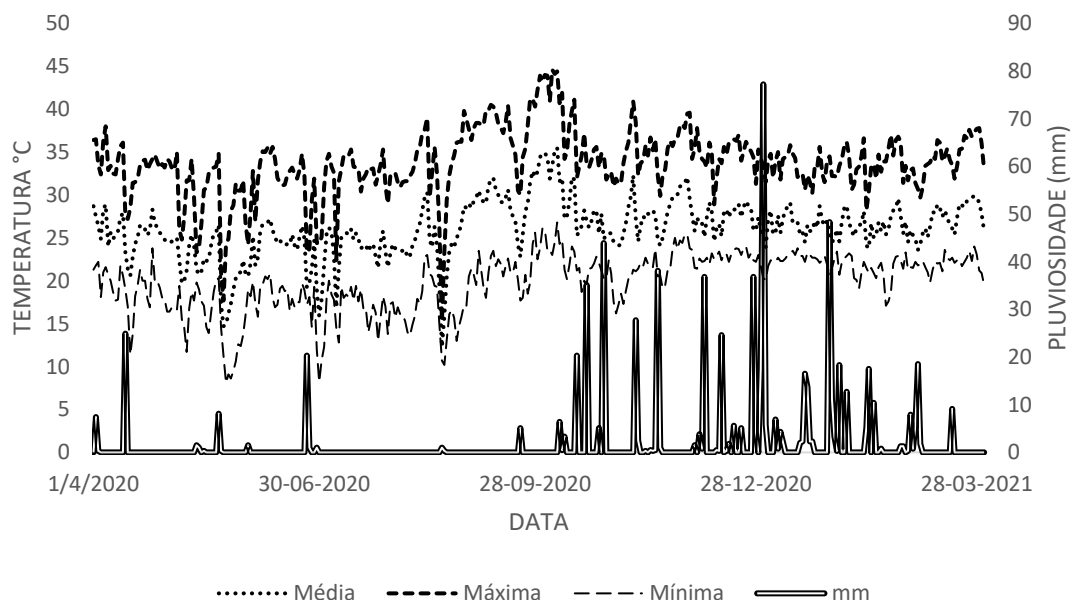
3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização

O experimento de longa duração está sendo desenvolvido em área experimental inserida no bioma cerrado, na Fazenda de Ensino Pesquisa e Extensão da Faculdade de Engenharia – UNESP, Campus de Ilha Solteira, localizada no município de Selvíria – MS (51°22'W e 20°22'S e altitude de 335 m, aproximadamente). A região, considerada Cerrado de baixa altitude e possui clima classificado como tipo Aw, ou seja, definido como tropical úmido com estação chuvosa e quente na primavera/verão, com possibilidades de veranico e outono/inverno com temperaturas amenas e seco. A temperatura e precipitação média anual é de 24,5°C e 1.370 mm respectivamente, além de umidade relativa do ar média anual de 64,8% (HERNANDEZ *et al.*, 1995). O solo da área experimental de acordo com a nomenclatura atual é um Latossolo Vermelho distrófico típico argiloso (LVd) (EMBRAPA, 2018).

Na Figura 1 encontram-se os dados de temperatura máxima e mínima e precipitação pluvial ocorrida no período de abril de 2020 a maio de 2021, obtidos em estação meteorológica, localizada próxima a área experimental.

Figura 1. Dados diários de precipitação pluvial (mm), temperaturas médias, máximas e mínimas (°C) referentes à instalação e condução do experimento de abril de 2020 a março de 2021. Selvíria – MS, 2020/21.



Fonte: Elaboração do próprio autor com dados coletados na estação meteorológica localizada em Ilha – Solteira (SP), obtidos a partir do site clima – FEIS.

3.2 Histórico da área, delineamento experimental e tratamentos

A área experimental era utilizada no sistema convencional de cultivo a vários anos e na safra 2000/01, após preparo convencional do solo, foi semeada a cultura da soja. Após sua colheita, iniciou-se a implantação do SPD através da instalação dos tratamentos com modos e épocas de aplicação de calcário e culturas de cobertura na entressafra, tendo a soja, como a cultura principal, cultivada no período de primavera/verão.

Os tratamentos iniciais constituíram de 5 modos e épocas de aplicação de calcário, sendo:

T1 - aplicação total da dose recomendada em outubro de 2001 e sua incorporação a 0 – 0,20 m;

T2 - aplicação total da dose recomendada em outubro de 2001, em superfície;

T3 - aplicação de 1/2 da dose recomendada em outubro de 2001 e 1/2 em agosto de 2002, todas em superfície;

T4 - aplicação de 1/3 da dose recomendada em março de 2001, 1/3 em outubro de 2001 e 1/3 em agosto 2002, todas em superfície;

T5 - testemunha (sem aplicação de calcário).

Nos anos agrícolas 2001/02 e 2002/03, a soja foi novamente cultivada na área, sempre no período de primavera/verão, utilizando-se o sistema plantio direto. As culturas de cobertura utilizadas foram, em junho de 2001, milho e sorgo, em outubro de 2001, milheto em área total e, em setembro de 2002, capim pé-de-galinha (*Eleusine coracana*) e sorgo.

A dose de calcário determinada a partir dos resultados da análise química da amostra de solo (Tabela 1) foi de 1,59 t ha⁻¹ e, teve como objetivo elevar a saturação por bases a 70%. O calcário utilizado apresentava as seguintes características: CaO - 39,6%, MgO - 13%; PN-102%; PRNT-91%; peneira ABNT 10 (2,0 mm) - 100%, peneira ABNT 20 (0,84 mm) - 93% e peneira ABNT 50 (0,3 mm) - 80%.

Tabela 1 Resultados da análise química da amostra de solo da área experimental. Selvíria-MS, 2000.

Prof.	P resina	M.O.	pH	K	Ca	Mg	H+Al	Al	SB	CTC	V
m	mg dm ⁻³	g dm ⁻³	CaCl ₂	mmol _c dm ⁻³							%
0-0,2	37	26	4,7	2,1	19	11	34	2	31,7	65,7	48

Nota: ¹—metodologia de Raij e Quaggio (2001).

Fonte: Próprio autor.

O delineamento experimental utilizado, anteriormente, foi o de blocos casualizados com os tratamentos dispostos em esquema fatorial (5 x 2), ou seja, 5 modos e épocas de aplicação de calcário e 2 culturas de cobertura em cada entressafra, com três repetições, onde cada parcela possuiu 12 x 15 m de dimensão.

A partir do ano agrícola 2003/04, as culturas de cobertura sempre foram o milheto e crotalária (*C. juncea*), semeadas na primavera com o milho em sucessão (2003/04, 04/05 e 05/06), subdividindo-se as parcelas para a aplicação anual de doses de N (0, 90 e 180 kg ha⁻¹). Portanto, o experimento

passou a possuir tratamentos dispostos em esquema fatorial 5x2x3, ou seja, 5 modos de aplicação de calcário na implantação do sistema plantio direto, 2 culturas de cobertura de primavera (crotalária e milho) e 3 doses de nitrogênio em cobertura (0, 90 e 180 kg ha⁻¹), utilizando-se como fonte o sulfato de amônio (2003/04 e 2004/05) e ureia (2005/06). Todos os tratamentos continuaram com 3 repetições e as parcelas passaram para as dimensões de 12,0 x 5,0 m.

No ano agrícola 2006/07, a soja sucedeu o milho como cultura de verão, mantendo-se as culturas de cobertura implantadas na primavera, modos de aplicação de calcário na implantação do SPD e residual das doses de N aplicadas em cobertura na cultura do milho nos anos agrícolas anteriores. Em outubro de 2007, foi reaplicado em superfície e em todas as parcelas dos tratamentos T1, T2 e T5, 812 kg ha⁻¹ de calcário. O delineamento experimental, portanto, passou a ser o em blocos casualizados com os tratamentos dispostos em esquema fatorial de 3 x 2 x 3, sendo residual de 3 doses de nitrogênio em cobertura (0, 90, e 180 kg ha⁻¹), 2 culturas de cobertura milho (*Pennisetum americanum*) e crotalária (*Crotalaria juncea*) e residual de 3 modos de aplicação de calcário na implantação do Sistema Plantio Direto. As parcelas possuíam 5 m de largura e 12 m de comprimento. Esses tratamentos foram avaliados na cultura da soja nos anos agrícolas 2007/08 e 2008/09. No tratamento T4 não foi reaplicado calcário e no T3 foi aplicado em superfície 1.624 kg ha⁻¹ de calcário. Sendo assim, os tratamentos T2, T3 e T4, passaram a ser considerados um novo experimento com doses de calcário em superfície, mantendo-se o residual de doses nitrogênio aplicadas no milho e as culturas de cobertura semeadas na primavera. Esses tratamentos foram avaliados na cultura da soja nos anos agrícolas 2007/08 e 2008/09. Nos anos agrícolas 2009/10, 2010/2011 e 2011/12 substituiu-se a soja pelo milho e manteve-se as culturas de cobertura de primavera, e aplicou-se anualmente, as mesmas doses de nitrogênio em cobertura na cultura do milho, utilizando-se desta vez, apenas o sulfato de amônio como fonte.

Nos anos agrícolas 20012/13, 2013/2014 e 2014/15 a cultura da soja substitui o milho no período de primavera/verão, mantendo-se as culturas de cobertura, milho e crotalária, sendo elas sempre semeadas em setembro/outubro. Na primeira semana de dezembro/2012, em função dos

resultados da análise de solo, as doses de calcário determinadas e aplicadas em superfície, foram:

T1 e T3 – 2,26 t ha⁻¹(recomendada para elevar a saturação por bases a 60%);

T2 e T4 – 4,52 t ha⁻¹(dobro da recomendação);

T5 – 0 t ha⁻¹ de calcário (testemunha).

Utilizou-se nesta ocasião, o calcário dolomítico, com CaO – 28%; MgO – 20,0%; PN - 99% e PRNT - 80,3%.

Nos anos agrícolas 2015/16, 2016/17 e 2017/18, a cultura da soja foi substituída pelo milho, mantendo-se a semeadura das culturas de cobertura no início da primavera. Em 23/02/17 houve aplicação de calcário, semelhante em termos de doses e parcelas a aplicação realizada em dezembro/2012. Acrescentou-se nos tratamentos T3 e T4, 1,7 t ha⁻¹ de gesso agrícola, aplicado em superfície simultaneamente a aplicação do calcário. O calcário utilizado apresentava as seguintes características: CaO – 40%; MgO – 10,0% e PRNT – 85%.

Nesses três anos agrícolas, as doses de nitrogênio foram aplicadas superficialmente e ao lado das plantas, parcelada em 2 vezes (geralmente as plantas de milho encontravam-se com 4 e 8 folhas em cada aplicação, respectivamente). A fonte de N utilizada nestes experimentos foi a ureia.

Nos anos agrícolas 2018/19, 2019/20 e 2020/21, o milho foi substituído pela soja, mantendo-se as culturas de cobertura com semeadura na primavera. Em 20/10/2020, foi reaplicado calcário nas seguintes dosagens para T1, T2, T3, T4 e T5: 1,13; 2,26; 1,13; 2,26 e 0 t ha⁻¹, respectivamente. Os tratamentos T3 e T4 também receberam 1,7 t ha⁻¹ de gesso. Portanto, de 2001 a 2020, os tratamentos T1, T2, T3, T4 e T5, receberam as seguintes quantidades de calcário, respectivamente: 8,05; 13,70; 8,86; 12,89 e 0,81 t ha⁻¹. Os Tratamentos T3 e T4, também receberam 3,4 t ha⁻¹ de gesso.

As atividades realizadas durante a condução dos experimentos nos anos agrícolas 2019/2020 e 2020/21, foram:

- **Ano agrícola 2019/20**

- não foram semeadas as culturas de cobertura nessa safra.
- 06/04/2019 – manejo das plantas daninhas na área experimental com o uso do implemento triton.

- 30/04/2019 – dessecação das plantas daninhas existentes na área experimental: utilização de glifosato (1800 g i.a. ha⁻¹) + cletodim (144 g i.a. ha⁻¹) + bentazona (600 g i.a. ha⁻¹) + óleo mineral.
- 09/09/2019 – manejo das plantas daninhas na área experimental com o uso do implemento triton.
- 11/10/2019 - dessecação das plantas daninhas existentes na área experimental: utilização de glifosato (2160 g i.a. ha⁻¹) + cletodim (264 g i.a. ha⁻¹) + óleo mineral.
- 11/12/2019 - semeadura da soja – cultivar TMG 7063 IPRO, uso no sulco de semeadura de 250 kg ha⁻¹ da formulação 02 - 20 – 20, espaçamento de 0,45 m entrelinhas e regulagem para distribuição aproximada de 15,0 sementes por metro de sulco. As sementes foram tratadas com os fungicidas carbedazim + tiram (30,0 + 70,0 g do i.a. 100 kg⁻¹ de sementes) e inoculadas com inoculante a base de *Bradyrhizobium japonicum*, na dose recomendada pelo fabricante.
- 18/12/2019 - germinação.
- 19/12/2019 - aplicação do herbicida S – Metolaclo (1440,0 g do i.a. ha⁻¹).
- 09/01/2020 - aplicação dos herbicidas glifosato (1080 g i.a. ha⁻¹) + clorimuron etílico (7,5 g i.a. ha⁻¹).
- 28/01/2020 - aplicação de fungicidas (piraclostrobina (93,1 g i.a. ha⁻¹) + epoxiconazol (35,0 g i.a. ha⁻¹) + clorotalonil (600 g i.a. ha⁻¹) + tiofanato metílico (240 g i.a. ha⁻¹)) + inseticidas (acefato (750 g i.a. ha⁻¹) + beta-ciflutrina (12,5 g i.a. ha⁻¹)).
- 17/02/2020 – coleta de folhas para diagnose nutricional.
- 25/02/2020 - aplicação de fungicidas (trifloxistrobina (60,0 g i.a. ha⁻¹) + protioconazol (70,0 g i.a. ha⁻¹)+ clorotalonil (600 g i.a. ha⁻¹) + tiofanato metílico (240 g i.a. ha⁻¹)) + inseticidas (acefato (750 g i.a. ha⁻¹) + beta-ciflutrina (12,5 g i.a. ha⁻¹)).
- 05/03/2020 - aplicação de fungicidas (protioconazol (87,5 g i.a. ha⁻¹) + trifloxistrobina (75,0 g i.a. ha⁻¹) + bixafen (62,5 g i.a. ha⁻¹)) + inseticidas (metomil (215,0 g i.a. ha⁻¹) + triflumetomil (24,0 g i.a. ha⁻¹) + tiametoxam (28,2 g i.a. ha⁻¹) + lambda-cialotrina (21,2 g i.a. ha⁻¹)).

- 18/03/2020 – dessecação da cultura da soja (paraquat - 400 g i.a. ha⁻¹).
- 25/03/2020 – colheita da cultura da soja

- **Ano agrícola 2020/21**

- 16/04/2020 – semeadura das culturas de cobertura (milheto variedade BRS 1501 e *Crotalaria juncea*); uso do espaçamento de 0,34 m entrelinhas e um gasto aproximado de 20 kg ha⁻¹ de sementes, para ambas culturas.
- 08 a 15/05/2020 – coleta de amostras de solo.
- 15/07/2020 – amostragem das culturas de cobertura para avaliação da produção de massa seca. A crotalaria encontrava-se na fase de formação das vagens e o milheto no início do enchimento dos grãos.
- 20/08/2020 – manejo das culturas de cobertura com o uso de rolo faca.
- 19/10/2020: dessecação das plantas de cobertura e daninhas existentes na área – uso de glifosato (1440 g i.a. ha⁻¹) + cletodim (240 g i.a. ha⁻¹) + 2,4 D (670 g i.a. ha⁻¹. (equivalente ácido do 2,4, D)) + óleo mineral.
- 20/10/2020 – aplicação do calcário e/ou gesso.
- 23/11/2020: semeadura da soja – cultivar TMG 7063 IPRO, uso no sulco de semeadura de 300 kg ha⁻¹ da formulação 02 - 20 – 20, espaçamento de 0,45 m entrelinhas e regulagem para distribuição aproximada de 15,0 sementes por metro de sulco. As sementes foram tratadas com o fungicida inseticida tiofanato metílico + piraclostrobina + fipronil (225,0 + 25,0 + 250,0 g L⁻¹ do i.a., respectivamente), utilizando-se 2,0 mL kg⁻¹ de semente do produto comercial e inoculadas com inoculante a base de *Bradyrhizobium japonicum*, na dose recomendada pelo fabricante.
- 24/11/2020: aplicação dos herbicidas glifosato (1440 g i.a. ha⁻¹) + haloxafope - p - metílico (96,0 g i.a. ha⁻¹).
- 25/11/2020 – aplicação do herbicida paraquat (400 g i.a. ha⁻¹)
- 01/12/2020: germinação da soja.
- 16/12/2020: aplicação dos herbicidas glifosato (1080 g i.a. ha⁻¹) + clorimuron etílico (7,5 g i.a. ha⁻¹)

- 09/01/2021 – aplicação de fungicidas (fluxapiróxade (50,0 g i.a. ha⁻¹) + oxicleto de cobre (420,0 g i.a.ha⁻¹)) + inseticidas (metomil (215 g i.a. ha⁻¹) + triflumurom (38,4 g i.a. ha⁻¹)).
- 01/02/2021 – aplicação de fungicidas (fluxapiróxade (50,0 g i.a. ha⁻¹) + oxicleto de cobre (420,0 g i.a.ha⁻¹)) + inseticidas (tiametoxan (28,2 g i.a. ha⁻¹) + lambda-cialotrina (21,2 g i.a. ha⁻¹)).
- 16/02/2021 – aplicação de fungicidas (trifloxistrobina (90,0 g i.a. ha⁻¹) + protioconazol (111,0 g i.a. ha⁻¹)) + mancozebe (1600,0 g i.a. ha⁻¹) + inseticidas (tiametoxan (28,2 g i.a. ha⁻¹) + lambda-cialotrina (21,2 g i.a. ha⁻¹)) + clorpirifós (134,0 g i.a. ha⁻¹) + (acetamiprido (60 g i.a. ha⁻¹) + piriproxifen (30,0 g i.a. ha⁻¹)).
- 11/03/2021 – colheita (amostragem para determinação da produtividade de grãos e massa de 100 grãos e amostragem de plantas para avaliações das características agrônômicas) e determinação da população de plantas.

3.3 Avaliações

As avaliações realizadas no experimento foram:

- **Produção de massa seca das culturas de cobertura:** em cada parcela, no ano agrícola 2020/21, foi coletado a parte aérea, com corte rente ao solo, das plantas em 1,0 m de linha. O material obtido foi levado ao laboratório e colocado para secagem em estufa com circulação forçada de ar a 65°C, até peso constante. Em seguida, as amostras foram pesadas e uma pequena amostra foi tomada para moagem em moinho tipo Wiley, para a determinação do teor de nitrogênio. Os resultados das pesagens foram transformados em massa da matéria seca produzida por hectare.
- **Determinação do teor de N na massa da matéria seca das culturas de cobertura:** nas amostras moídas do material coletado em cada parcela, foi determinado o teor de nitrogênio segundo metodologia descrita por Malavolta, Vitti e Oliveira (1997).
- **Determinação dos valores de pH e teores de matéria orgânica, H + Al, Al e enxofre:** no período de 08 a 15/05/2020, foi realizado a

amostragem do solo na área experimental. Em cada parcela, foram coletadas 05 amostras em cada profundidade (0,0 – 0,10, 0,10 – 0,20 e 0,20 – 0,40 m), que após homogeneização, foi obtida uma amostra composta. Em cada local de amostragem na parcela, coletava-se as amostras em cada profundidade. Para a composição de cada amostra composta, em cada profundidade coletou-se 4 amostras na entrelinha da cultura da soja do ano anterior e uma amostra na linha de soja. Para amostragem, utilizou-se um trado tipo sonda de diâmetro 42,58 mm. As determinações foram realizadas segundo metodologia proposta por Raji *et al.* (2001).

- **Estado nutricional das plantas:** no momento em que as plantas de soja se encontravam no estágio de florescimento pleno (R2) no ano agrícola 2019/20 e em R5 (ano agrícola 2020/21) foram coletadas 30 folhas por parcela, sendo estas a terceira folha completamente desenvolvida na haste principal, no sentido do ápice para a base da planta. O material obtido foi seco em estufa com circulação forçada de ar a 65°C até peso constante, moído em moinho tipo Wiley e posteriormente armazenamento em saquinhos plásticos, devidamente identificados. Nesse material foram determinados os teores de N, P, K, Ca, Mg, S, Cu, Mn e Zn, segundo a metodologia descrita por Malavolta, Vitti e Oliveira (1997).
- **Características agronômicas:**
 - **População de plantas por hectare:** com o auxílio de uma régua, foi realizada a contagem, no momento da colheita, das plantas existentes em 3,0 m em uma das linhas da área útil da parcela. Os dados obtidos foram utilizados para o cálculo da população de plantas ha⁻¹.
 - **Altura de planta e número de vagens por planta:** no dia da colheita de plantas para a avaliação da produtividade de grãos, também se coletou em uma das linhas da área útil da parcela, cinco plantas seguidas. Após identificação, essas plantas foram levadas para o laboratório e com o auxílio de uma trena, mediu-se a distância entre o colo da planta e a extremidade da haste principal de todas as plantas. Nessas plantas, após a avaliação

da altura, destacou-se as vagens de todas as plantas e em seguida contou-se as vagens obtidas. Para a análise estatística, utilizou-se a média obtida em cada parcela, considerando 5 plantas avaliadas.

- **Massa de 100 grãos:** no mesmo dia, em laboratório, nos grãos obtidos para a avaliação da produtividade, retirou-se uma amostra de 100 grãos. Em seguida, foram pesados em balança de precisão para a determinação da massa, corrigindo os valores para 13% de umidade (base úmida).
- **Produtividade de grãos:** foram coletadas as plantas contidas em 2 linhas com 3 m de comprimento na área central da parcela. Após secagem ao sol, foram trilhadas mecanicamente e os grãos obtidos, pesados e em seguida, determinou-se a umidade dos grãos com o auxílio de um aparelho digital, para cálculo da produtividade de grãos em kg ha^{-1} (13% de base úmida).

Os dados foram submetidos à análise de variância individual ANOVA pelo teste F ($p \leq 0,05$), e quando houve efeito significativo, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$), para todos os fatores.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir dos resultados contidos na Tabela 2, é possível observar que o milheto possuiu uma maior produção de matéria seca, o que pode ser explicado pela sua adaptabilidade aos solos ácidos e de baixa fertilidade, devido a capacidade de extração de nutrientes, sistema radicular profundo e abundante, se tornando uma ótima opção como cultura de inverno para formação de palhada no sistema de plantio direto (EMBRAPA, 2016).

Tabela 2. Valores de F e médias de massa da matéria seca (MSPC) e teor de nitrogênio nas plantas de cobertura em função de doses de calcário e gesso e residual de doses de N. Selvíria – MS, 2020/2021.

Tratamentos	MSPC	Teor de nitrogênio
Plantas de Cobertura (PC)		
Crotalária	3979 b	25,4 a
Milheto	5536 a	16,4 b
DMS _{cobertura}	734	1,0
Manejo de Correção (t ha⁻¹) (C)		
T1	5401 a	21,5 a
T2	4548 a	20,9 a
T3	5093 a	20,0 a
T4	4741 a	20,7 a
T5	4004 a	21,4 a
DMS _{calcário}	1633,1	2,3
Nitrogênio kg ha⁻¹ (N)		
0	4774 a	20,3 b
90	4746 a	20,4 b
180	4752 a	22,0 a
DMS _{nitrogênio}	1081	1,52
Teste F		
PC	17,98*	303,30**
C	1,68	1,12
N	0,002	4,14**
PC x C	1,21	1,29
PC x N	0,014	1,01
C x N	0,95	1,36
PC x C x N	0,99	0,87
Média	4757	20,9

T1: 8,05 t ha⁻¹; T2: 13,7 t ha⁻¹ + 1,7 t ha⁻¹; T3: 8,86 t ha⁻¹; T4: 12,89 t ha⁻¹ + 1,7 t ha⁻¹; T5: 0,81 t ha⁻¹.*,**,respectivamente significativo a 5% pelo teste F (p≤0,05), significativo a 1% pelo teste F (p≤0,01). Médias seguidas pela mesma letra na coluna, para cada fator, não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade. **Fonte:** Próprio autor.

Com relação ao manejo de correção, mesmo sem efeito significativo, foi possível observar que os maiores valores de matéria seca foram encontrados quando houve a aplicação somente do calcário, o que pode ser explicado devido às alterações no solo, em decorrência de um melhor fornecimento de alguns nutrientes às plantas, como por exemplo, Ca e Mg e a diminuição de teores de Al.

Por sua vez, o teor de nitrogênio nas plantas de cobertura, a crotalária apresentou uma maior média. Este, pode ter relação ao fato da leguminosa ser um adubo verde, sendo capaz de se relacionar com as bactérias do gênero *Rhizobium*, aproveitando o nitrogênio fixado pelos microrganismos e, suprimindo boa parte da sua necessidade de nitrogênio. Além disso, é possível notar que os teores aumentam conforme os residuais das maiores doses de N, assim como Mota *et al.* (2015), que evidenciou o aumento deste, em decorrência do incremento na quantidade do nutriente aplicado em cultivos antecessores.

Os valores de pH, contidos na Tabela 3, foram influenciados significativamente ($p \leq 0,5$) pelos fatores calagem e doses de N em todas as camadas avaliadas. Para os resultados de teores de matéria orgânica do solo (MOS) não ocorreu diferença significativa entre os tratamentos de calagem e doses de N. O fator cultura de cobertura apresentou efeito significativo para o pH apenas nas camadas de 0,10 - 0,20 e 0,20 - 0,40 m e nas camadas de 0 - 0,10 e 0,20 - 0,40 m para o teor de matéria orgânica.

Tabela 3. Resumo da análise estatística e médias dos valores de pH e teores de matéria orgânica do solo, em diferentes profundidades de amostragem, em função dos tratamentos. Selvíria – MS, 2020.

Tratam.	pH (CaCl ₂)			M.O.		
	0-0,10 m	0,10-0,20 m	0,20-0,40 m	0-0,10 m mg/dm ⁻³	0,10-0,20 m mg/dm ⁻³	0,20-0,40 m mg/dm ⁻³
Manejo de Correção (t ha ⁻¹) (C)						
T1	5,1 c	4,5 c	4,3 ab	26,5	20,5	12,0
T2	5,6 ab	4,9 ab	4,5 a	25,7	21,1	12,3
T3	5,3 bc	4,6 bc	4,4 ab	26,5	20,4	12,0
T4	5,9 a	5,1 a	4,5 a	26,8	19,6	11,9
T5	4,2 d	4,0 d	4,1 b	25,9	20,7	11,7
C. Cob (CC)						
Milheto	5,3	4,7 a	4,5 a	25,3 b	20,6	16,7 a
Crotalária	5,1	4,5 b	4,3 b	27,2 a	20,3	10,2 b

Doses de N (D)						
0	5,4 a	4,9 a	4,6 a	25,7	20,7	12,7
90	5,1 b	4,6 b	4,4 ab	25,9	20,1	11,7
180	5,1 b	4,4 b	4,3 b	27,3	20,6	11,5
Teste F						
C	50,62 **	25,26 **	3,93 **	0,21	1,34	0,05
CC	2,70	7,61 **	5,56 **	4,96 *	0,56	16,93 **
D	7,53 **	13,53 **	5,41 **	1,33	0,62	0,71
CxCC	0,48	0,40	0,94	0,77	0,35	0,18
CxD	0,31	1,41	0,73	1,42	0,72	1,80
CCxD	1,30	0,29	1,00	1,80	0,49	0,34
CxCCxD	0,14	1,43	0,36	1,45	2,52	1,54
CV%	7,38	7,32	7,44	15,21	9,80	33,41
DMS						
C	0,4	0,3	0,3	----	----	1,7
CC	----	0,1	0,1	1,7	----	----
D	0,2	0,2	0,2	----	----	----

T1: 8,05 t ha⁻¹; T2: 13,7 t ha⁻¹ + 1,7 t ha⁻¹; T3: 8,86 t ha⁻¹; T4: 12,89 t ha⁻¹ + 1,7 t ha⁻¹; T5: 0,81 t ha⁻¹. *, **, respectivamente significativo a 5% pelo teste F ($p \leq 0,05$), significativo a 1% pelo teste F ($p \leq 0,01$). Médias seguidas pela mesma letra na coluna, para cada fator, não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade. **Fonte:** Próprio autor.

Entre os cinco tratamentos de calagem utilizados, verificou-se que o T4 apresentou os maiores valores de pH em todas as camadas estudadas, sendo mais elevado na camada superficial (0 - 0,10 m) em relação as camadas mais profundas. Provavelmente, isso está associado a forma de aplicação de calcário no SPD, pois segundo Ferrari Neto *et al.* (2021), como em SPD o calcário é aplicado de forma superficial, a neutralização é mais restrita às primeiras camadas do solo, visto que apresenta baixa solubilidade em água.

Os resultados revelaram diferença significativa entre as culturas de cobertura utilizadas nas camadas de 0,10 - 0,20 e 0,20 - 0,40 m, sendo observados os maiores valores de pH em ambas as camadas para o milho. Possivelmente, isso ocorreu devido o milho apresentar um sistema radicular fasciculado e com maior biomassa de raiz em comparação a crotalaria. Segundo Rosolem *et al.* (2016), o milho apresenta maior potencial para produzir raízes e brotos do que a crotalaria. Sabe-se que dependendo da arquitetura e crescimento das raízes, e da quantidade e qualidade dos rizoexsudatos e resíduos, as espécies de plantas de cobertura podem variar em seus efeitos sobre propriedades do solo, como o pH (RAMIREZ-VILLANUEVA *et al.*, 2015; KIM *et al.*, 2020).

Nos tratamentos de aplicação de doses de N, houve diferença significativa nas três camadas avaliadas, sendo observado diminuição dos valores de pH com o aumento das doses, provavelmente, devido a maior acidificação do solo pela adição de elevadas doses de N via fertilizante, pois é evidenciado que a redução do pH é causada pelo efeito de acidificação dos fertilizantes $\text{NH}_4\text{-N}$ decorrentes da liberação de prótons durante a nitrificação de amônio (HELYAR, 1991).

Em relação aos teores de matéria orgânica, observou-se apenas o efeito dos tratamentos de cultura de cobertura sobre essa variável, onde foi verificado diferença significativa do tipo de cultura de cobertura utilizada sobre duas camadas de profundidade, sendo os maiores teores de matéria orgânica obtidos nas camadas de 0 - 0,10 e 0,20 - 0,40 m para a crotalária e o milheto, respectivamente. Enquanto a crotalária apresenta um sistema radicular pivotante, com ramificações em raízes laterais, o milheto possui um sistema radicular mais fasciculado e profundo, possuindo um maior volume de solo a ser explorado, o que podemos confirmar através da do acúmulo de matéria seca nas camadas mais profundas estudadas. De acordo com Rosolem e Calonego (2013), em SPD as espécies de plantas de cobertura não somente protegem a superfície do solo, mas também melhoram seus atributos físicos, químicos e biológicos, em diferentes profundidades, por meio do efeito das raízes. O resultado disso, é o aumento da eficiência do uso de água e fertilizantes, redução de lixiviação, equilíbrio de nutrientes do solo, aumento da fertilidade e melhoria do uso de fertilizantes minerais.

Li *et al.* (2019) explicaram que o teor de matéria orgânica em SPD pode responder de forma diferente em decorrência das formas de fertilizantes nitrogenados utilizados, das durações de medição e números de medição do teor de matéria orgânica ou devido a influência não apenas do ambiente do experimento, como também dos fatores ambientais locais, como a altitude, o clima e as propriedades do solo.

Os resultados de teores de H+Al e Al foram influenciados significativamente pelo tratamento de calagem em todas as camadas avaliadas, para o teor de S foi observado efeito significativo deste fator ($p \leq 0,5$) apenas nas camadas de 0 - 0,10 e 0,10 - 0,20 m. Já o fator cultura de cobertura apresentou efeito significativo apenas na camada 0,10 - 0,20 m para

o H+Al e Al e na camada 0,20 - 0,40 m para a variável S. O fator doses de N teve efeito significativo para os teores de H+Al e Al em todas as camadas avaliadas e para o teor de S, verificou-se efeito significativo do fator dose de N apenas nas camadas de 0 - 0,10 e 0,10 - 0,20 m (Tabela 4).

Os solos tropicais e subtropicais por si só, podem ter alta acidez devido aos seus processos de intemperismo, o que proporciona diminuição do crescimento das raízes, de absorção de água e nutrientes e do rendimento das culturas (UEXKULL; MUTERT, 1995). Assim, a correção da acidez do solo é extremamente importante nessas regiões para evitar prejuízos nos cultivos de culturas agrícolas como a soja (DEUS *et al.*, 2020).

Para o teor de H+Al, foi observada diferença significativa entre os tratamentos de calagem nas três camadas estudadas, sendo os maiores valores, como já esperado, obtidos no T5 (testemunha). Além disso, verificou-se que a camada de 0 - 0,10 m apresentou os menores valores de H+Al em comparação com as demais camadas estudadas. Além disso, observou-se menores valores dessa concentração nos tratamentos T2 e T4, ambos com gesso adicionado na aplicação. Isso pode ser explicado devido ao gesso ser um condicionador de solo, atuando como um melhorador químico no solo, principalmente devido a sua ação sobre o alumínio trocável. Segundo Castro e Crusciol (2013b), como a calagem em SPD é aplicada na superfície do solo a eficiência de sua correção é variável entre as camadas do solo, sendo manifestada mais rapidamente na camada superficial do solo e isso explica a redução mais acentuada dos valores de H+Al na camada de 0 - 0,10 m. Maiores valores de H + Al nas subcamadas do solo são devido aos menores valores de cátions básicos em comparação aos encontrados na camada superior do solo (FAGERIA *et al.*, 2010).

Tabela 4. Resumo da análise estatística e médias de H+Al, e dos teores de Al e enxofre (S) no solo, em diferentes profundidades de amostragem, em função dos tratamentos. Selvíria – MS, 2020.

Tratam.	H + Al			Al			S		
	0 - 0,1 m	0,1 -0,2 m	0,2 -0,4 m	0 - 0,1 m	0,1 -0,2 m	0,2 -0,4 m	0 -0,1 m	0,1 -0,2 m	0,2-0,4 m
	mmol _c dm ⁻³			mmol _c dm ⁻³			mg dm ⁻³		
Manejo de Correção (t ha ⁻¹) (C)									
T1	29,5 b	37,8 b	35,4 ab	0,8 a	7,6 ab	13,2 ab	7,9 b	16,0 ab	54,9

T2	22,3 cd	30,4 c	32,3 b	0,2 b	2,6 bc	10,2 ab	8,0 ab	14,7 b	54,5
T3	27,2 bc	36,5 b	34,5 ab	0,8 a	5,2 b	11,9 ab	8,2 ab	17,9 ab	59,4
T4	18,4 d	27,8 c	32,1 b	0,0 b	1,7 c	9,3 b	6,8 b	12,7 b	59,6
T5	53,2 a	54,4 a	41,3 a	11,9 a	15,8 a	17,5 a	12,1 a	24,1 a	62,2
C.Cob. (CC)									
Milheto	29,7	35,8 b	33,8	2,8	5,2 b	10,9	8,1	15,8	49,3 b
Crotalária	30,6	39,0 a	34,4	2,7	8,0 a	13,9	9,1	18,4	67,0 a
Doses de N (D)									
0	25,1 b	31,3 c	31,7 b	1,1	3,1	9,0 b	7,4	12,6 b	48,1
90	31,2 a	38,0 b	34,7 ab	3,2	7,2	12,8 ab	9,6	18,4 a	63,3
180	34,0 a	42,8 a	38,8 a	3,9	9,4	15,4 a	8,9	20,3 b	63,0
Teste F									
C	84,79 **	52,84 **	4,06 **	35,18**	48,32 **	2,88 *	6,69 **	4,42 **	0,20
CC	0,50	6,15 **	2,59	0,01	15,04 **	3,25	2,36	1,94	7,07 *
D	16,11**	27,26 **	6,10 **	4,78 *	26,65 **	4,86 *	3,46 *	6,26 **	2,25
CxCC	0,23	0,96	0,82	0,18	0,44	0,69	1,10	0,28	0,40
CxD	1,79	1,32	0,28	3,59 **	4,58 **	0,73	0,53	1,86	0,59
CCxD	0,70	0,00	0,32	0,43	0,32	1,43	0,37	1,38	0,72
CxCCxD	0,52	0,76	0,19	0,38	1,10	1,01	2,83 *	1,09	0,53
CV%	20,78	16,22	22,49	134,38	52,30	34,26	38,84	51,1	54,45
DMS									
C	5,9	5,7	7,4		----	7,5	----	8,2	----
CC	----	2,6	----		1,5	----	----	----	13,4
D	3,9	3,8	4,9		----	5,0	----	5,4	----

T1: 8,05 t ha⁻¹; T2: 13,7 t ha⁻¹ + 1,7 t ha⁻¹; T3: 8,86 t ha⁻¹; T4: 12,89 t ha⁻¹ + 1,7 t ha⁻¹; T5: 0,81 t ha⁻¹. *, **, respectivamente significativo a 5% pelo teste F (p≤0,05), significativo a 1% pelo teste F (p≤0,01). Médias seguidas pela mesma letra na coluna, para cada fator, não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade. **Fonte:** Próprio autor.

A cultura de cobertura também apresentou diferença significativa sobre o teor de H+Al, porém, apenas na camada de 0,10 - 0,20 m. Os maiores valores desta variável foram encontrados quando se utilizou a crotalária como cultura de cobertura. Entre os fatores que contribuem para o aumento de acidificação dos solos o uso intensivo de plantas leguminosas como cultura de cobertura também está incluso, devido durante o processo de FBN muitas leguminosas exportarem parte do H⁺ para o solo (FAGERIA e NASCENTE, 2014).

Para o H+Al nas três camadas, verificou-se diferença significativa entre as doses de N aplicadas. Sendo observado maior valor de teor de H+Al no tratamento de maior dose de N (180 kg ha⁻¹ de N) em todas as camadas avaliadas. Esse aumento do teor de H+Al em decorrência da elevação da dose de N aplicada pode estar associado a maior acidificação do solo imposta pela aplicação do adubo químico. De acordo com Helyar (1991), com a aplicação de

fertilizantes de N à medida que os ânions nitrato são lixiviados, eles são seguidos por seus contra-íons (K^+ , Ca^{2+} ou Mg^{2+}), por outro lado, os prótons liberados durante a nitrificação de amônia permanecem na camada superficial do solo, resultando em uma acidez potencial.

Os teores de Al foram influenciados pela aplicação de calagem em todas as camadas avaliadas. Foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos aplicados nas três camadas, sendo os maiores valores de teor de Al encontrados no T5. Todavia, assim como verificado para o teor de H+Al, os teores de Al em todos os tratamentos da primeira camada avaliada (0 - 0,10 m) apresentaram os menores valores, quando comparados com as demais camadas (0,10 - 0,20 e 0,20 - 0,40 m). Rheinheimer *et al.* (2018) afirmam que a redução da atividade de Al é manifestada principalmente, nas camadas iniciais do solo, porém, com o avanço da decomposição dos resíduos vegetais deixado na superfície do solo há uma contribuição para a liberação de ácidos orgânicos de baixo peso molecular, os quais podem se ligar ao Ca e Mg presentes na superfície e movê-los para camadas mais profundas do solo, e desse modo, também causam diminuição da atividade do Al.

Foi constatado efeito do fator cultura de cobertura sobre o teor de Al, somente na camada de 0,10 - 0,20 m. O maior teor de Al, assim como o observado para o teor de H+Al foi obtido quando se utilizou a crotalária como cultura de cobertura.

A aplicação de doses de N teve efeito sobre os teores de Al em todas as camadas estudadas. Foram observados maiores teores de Al quando se aplicou maior dose de N em todas as camadas, de modo, que a elevação do teor de Al está intimamente relacionada ao aumento da concentração de N aplicado no solo. Segundo Wakwoya *et al.* (2022), a aplicação de fertilizantes nitrogenados pode acelerar a acidez do solo, manifestada principalmente pelos elevados teores de Al disponíveis.

Para os teores de enxofre (S), observou-se efeito significativo do fator calagem sobre os valores obtidos nas camadas 0 - 0,10 m e 0,10 - 0,20 m. Em ambas as camadas o T5 apresentou os maiores valores de teor de S em relação aos demais tratamentos de calagem. O teor de S foi influenciado pelo tipo de cultura de cobertura utilizada apenas na camada de 0,20 - 0,40 m. Nessa camada, a utilização de crotalária como cultura de cobertura

proporcionou um aumento no teor de S em comparação ao milho, pois, a mesma possui um maior teor de proteína e, o enxofre está presente nessa composição e, quando há ausência ou deficiência desse elemento durante o crescimento das plantas, as proteínas formadas possuem baixa qualidade. Além disso, assim como o nitrogênio, o enxofre possui grande importância para a nutrição da planta forrageira, sendo componente de aminoácidos, como cisteína, cistina e metionina. A aplicação de doses de N teve efeito significativo sobre o teor de S, nas primeiras camadas avaliadas (0 - 0,10 m e 0,10 - 0,20 m). Os maiores valores de S foram obtidos quando se aplicou a maior dose de N utilizada na pesquisa. Segundo Bonfim-Silva *et al.* (2010), o equilíbrio na relação enxofre e nitrogênio no solo e na planta é importante porque reflete no seu estado nutricional. Estes, estão presentes no metabolismo das plantas, possuindo uma relação próxima ao sinergismo, que é quando a presença de um elemento favorece a absorção de outro, proporcionando inúmeros benefícios à planta.

Conforme Antonangelo *et al.* (2022), a estratificação dos atributos químicos do solo dentro do perfil do solo, ou seja, a distribuição dos elementos nas camadas superficiais, pode variar em decorrência do acúmulo de matéria orgânica pelas culturas de cobertura utilizadas no SPD, assim como pela aplicação superficial de corretivos e fertilizantes.

O desdobramento da interação entre os fatores calagem x doses de N para o teor de Al na camada de 0 - 0,10 m, revelou interação significativa ($p \leq 0,5$) entre o T5 de calagem com as doses de N, nesta interação os tratamentos de 90 e 180 kg ha⁻¹ diferiram significativamente da dose de 0 kg ha⁻¹ e o maior teor de Al foi encontrado quando se aplicou a dose de 180 kg ha⁻¹ de N. Já entre as doses de N utilizadas observou-se apenas nos tratamentos de calagem que receberam aplicação de 90 e 180 kg ha⁻¹ diferença significativa, com os maiores teores de Al para a dose de 180 kg ha⁻¹ (Tabela 5).

O T5 representa o tratamento sem calagem, na literatura tem sido evidenciado que a calagem neutraliza a acidez do solo, aumentando a disponibilidade de nutrientes, fornece o teor Ca e de Mg e alivia a toxicidade de alguns elementos como o Al (CAIRES *et al.*, 2011). Por outro lado, a adubação com N, principalmente com fertilizantes como a ureia ou sais de amônio (NH₄⁺) (GOULDING, 2016), pode contribuir para elevar a acidez dos solos (HAN *et al.*,

2015), e solos ácidos normalmente possuem altos teores de Al (LOPES; GUILHERME, 2016). Portanto, o elevado teor de Al obtido para o T5 é justificável pela falta de correção do solo com calagem nesse tratamento, o que contribui para maior acidificação do solo com a presença de maiores teores Al.

Tabela 5. Desdobramento da interação calagem (C) x doses de N (D), significativa para os teores de alumínio, na profundidade de 0,0 - 0,10 m. Selvíria – MS, 2020.

Tratamento	0	90	180	DMS
mmol _c dm ⁻³				
T1	0,3 Aa	0,4 Ab	1,6 Ab	5,1
T2	0,0 Aa	0,7 Ab	0,0 Ab	
T3	0,0 Aa	2,4 Ab	0,0 Ab	
T4	0,0 Aa	0,0 Ab	0,0 Ab	
T5	2,2 Ba	12,7 Aa	17,8 Aa	
DMS	6,0			

T1: 8,05 t ha⁻¹; T2: 13,7 t ha⁻¹ + 1,7 t ha⁻¹; T3: 8,86 t ha⁻¹; T4: 12,89 t ha⁻¹ + 1,7 t ha⁻¹; T5: 0,81 t ha⁻¹. Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna, não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade. **Fonte:** Próprio autor.

No desdobramento da interação dos fatores calagem x doses de N na profundidade de 0,10 - 0,20 m para o teor de Al no solo, com exceção do T5, foi verificado efeito significativo dos tratamentos de calagem com a aplicação das doses de N. Todas as doses de N apresentaram efeito significativo sobre os tratamentos de calagem para o teor de Al, sendo os maiores teores de Al, obtidos para o T5 (Tabela 6). Assim como já discutido anteriormente, o T5 apresentou maior valor de teor de Al em função das doses de N devido ser o tratamento sem calagem, justificando a importância da calagem no SPD para redução de Al e melhor eficiência da aplicação de doses de N.

Tabela 6. Desdobramento da interação calagem (C) x doses de N (D), significativa para os teores de alumínio, na profundidade de 0,10 - 0,20 m. Selvíria – MS, 2020.

Tratamento	0	90	180	DMS
mmol _c dm ⁻³				
T1	1,1 Bb	9,0 Ab	12,6 Aab	4,8
T2	0,3 Bb	2,2 AB c	5,4 Acd	
T3	2,0 Bb	3,5 Bbc	10,0 Abc	
T4	2,2 Ab	0,8 Ac	2,2 Ad	

T5	10,1 Ba	20,3 Aa	17,0 Aa
DMS	5,6		

T1: 8,05 t ha⁻¹; T2: 13,7 t ha⁻¹ + 1,7 t ha⁻¹; T3: 8,86 t ha⁻¹; T4: 12,89 t ha⁻¹ + 1,7 t ha⁻¹; T5: 0,81 t ha⁻¹. Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna, não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade. **Fonte:** Próprio autor.

O desdobramento da interação dos três fatores sobre o teor de S na camada de 0,0 - 0,10 m apresentou diferença significativa ($p \leq 0,5$) em todas as combinações. A interação de calagem x cultura de cobertura revelou diferença significativa entre os tratamentos de calagem dentro das culturas de cobertura, sendo observado os maiores valores de S no T5 de calagem. Também foi observada diferença significativa no teor de S na combinação de calagem x doses de N, onde verificou-se que a aplicação de doses de N de 90 e 180 kg ha⁻¹ influenciaram sobre o teor de S nos tratamentos de calagem, sendo observados os maiores teores de S no T5. Já para a combinação de cultura de cobertura x doses de N, não se verificou diferença significativa ($p \leq 0,5$) entre os fatores para os valores de teor de S (Tabela 7).

Tabela 7. Desdobramento das interações calagem (C) x culturas de cobertura (CC), calagem (C) x doses de N (D) e culturas de cobertura (CC) x doses de N (D), para os teores de enxofre no solo (S), na profundidade de 0,0 – 0,10 m. Selvíria – MS, 2020.

Tratamento	Milheto	Crotalária	DMS	0	90	180	DMS
	mg dm ⁻³			mg dm ⁻³			
T1	8,1 A ab	7,8 Ab	3,2	6,4 Aa	9,0 Aab	8,4 Aab	4,6
T2	8,4 Aab	7,7 Ab		6,0 Aa	10,2 Aab	8,0 Aab	
T3	6,7 Ab	9,7 Aab		7,1 Aa	8,8 Aab	8,8 Aab	
T4	5,5 Ab	8,1 Aab		7,2 Aa	6,8 Ab	6,3 Ab	
T5	11,7 Aa	12,5 Aa		10,1 Aa	13,1 Aa	13,1 Aa	
DMS	4,4						
Tratamento	0			90		180	
Milheto	6,4 Aa			9,0 Aa		8,7 Aa	2,8
Crotalária	8,3 Aa			10,1 Aa		9,1 Aa	
DMS	2,4						

T1: 8,05 t ha⁻¹; T2: 13,7 t ha⁻¹ + 1,7 t ha⁻¹; T3: 8,86 t ha⁻¹; T4: 12,89 t ha⁻¹ + 1,7 t ha⁻¹; T5: 0,81 t ha⁻¹. Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna, não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade. **Fonte:** Próprio autor.

Besen *et al.* (2021), ao realizar aplicação de calagem em SPD observaram aumento nos teores de S. Contudo, neste estudo o T5 apresentou

o maior valor de teor de S em relação aos demais tratamentos de calagem, o que indica que algum fator pode ter contribuído para o maior teor de S.

A cultura da crotalária propiciou um maior teor de potássio foliar, enquanto o milho aumentou a absorção de cálcio e magnésio na cultura da soja (Tabela 8). Como o potássio é um nutriente de liberação mais rápida e, portanto, devido ao longo período da instalação do experimento e alta taxa e decomposição de matéria seca do milho, vale destacar que a crotalária apresenta valores mais satisfatórios para a manutenção desse nutriente (SORATTO *et al.*, 2012 apud MARTINS, 2020).

Tabela 8. Resumo da análise estatística e médias dos teores foliares de N, P, K, Ca, Mg e S, em soja, em função dos tratamentos. Selvíria – MS, 2020.

Tratam.	N	P	K	Ca	Mg	S
g kg ⁻¹						
Manejo de Correção (t ha ⁻¹) (C)						
T1	45,8	3,6	24,2	7,2 b	4,4	3,8
T2	47,7	3,9	23,2	8,5 a	4,6	3,8
T3	45,5	3,6	23,2	7,8 ab	4,5	3,7
T4	47,3	3,8	23,4	7,9 ab	4,6	3,9
T5	47,1	3,7	23,6	7,9 ab	4,6	3,8
C. Cob. (CC)						
Milho	46,7	3,7	22,9 b	8,1 a	4,7 a	3,9
Crotalária	46,7	3,7	24,2 a	7,6 b	4,3 b	3,7
Doses de N (D)						
0	46,3	3,8	23,6	7,8	4,5	3,8
90	46,9	3,7	23,2	8,0	4,6	3,9
180	46,9	3,6	23,6	7,7	4,5	3,7
Teste F						
C	1,35	1,67	1,57	4,68**	1,17	0,31
CC	0,00	0,02	15,54**	6,04*	13,58**	0,95
D	0,22	1,84	0,65	0,74	0,61	0,42
CxCC	0,26	1,02	0,52	2,11	1,63	0,14
CxD	0,97	0,44	1,27	0,57	0,75	1,91
CCxD	0,15	0,04	0,41	0,04	0,74	1,06
CxCCxD	0,57	0,37	0,69	0,19	0,32	0,33
CV%	7,50	10,75	6,65	11,24	9,88	16,22
DMS						
C	----	----	----	0,8	----	----
CC	----	----	0,7	0,4	0,2	----
D	----	----	----	----	----	----

T1: 8,05 t ha⁻¹; T2: 13,7 t ha⁻¹ + 1,7 t ha⁻¹; T3: 8,86 t ha⁻¹; T4: 12,89 t ha⁻¹ + 1,7 t ha⁻¹; T5: 0,81 t ha⁻¹. *, **, respectivamente significativo a 5% pelo teste F (p≤0,05), significativo a 1% pelo teste F

($p \leq 0,01$). Médias seguidas pela mesma letra na coluna, para cada fator, não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade. **Fonte:** Próprio autor.

Nos valores de teores foliares de N, P, potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e S em plantas de soja foi observado efeito do fator calagem sobre os teores de N, P, K, Ca e S. Já o fator cultura de cobertura influenciou apenas os teores de K e Ca. Em todos os nutrientes avaliados não foram observados efeitos significativos do fator doses de N (Tabela 9).

Tabela 9. Resumo da análise estatística e médias dos teores foliares de N, P, K, Ca, Mg e S na soja, em função dos tratamentos. Selvíria – MS, 2021.

Tratam.	N	P	K	Ca	Mg	S
g/kg						
Manejo de Correção (t ha ⁻¹) (C)						
T1	28,0 a	2,3 a	8,9 ab	11,3 b	7,2	3,2 ab
T2	28,8 a	2,3 a	8,2 b	12,2 ab	6,9	3,3 ab
T3	27,8 ab	2,5 a	8,7 ab	12,4 ab	7,2	3,5 a
T4	29,4 a	2,4 a	7,9 b	13,5 a	7,1	3,4 a
T5	24,2 b	1,6 b	9,7 a	7,6 c	6,9	2,9 b
C. Cob. (CC)						
Milheto	28,2	2,2	8,3 b	10,5 b	7,1	3,1
Crotalária	27,1	2,2	9,0 a	12,3 a	7,0	3,5
Doses de N (D)						
0	28,0	2,3	9,0	11,1	7,1	3,2
90	28,1	2,2	8,6	11,3	6,9	3,3
180	26,0	2,2	8,5	11,7	7,2	3,4
Teste F						
C	5,12 **	14,85 **	5,65 **	20,42 **	0,63	4,02 **
CC	1,92	0,67	7,09 *	15,62 **	0,06	13,37 **
D	1,07	1,08	1,47	0,59	1,23	0,81
CxCC	1,42	0,32	1,61	1,43	0,98	0,85
CxD	0,87	0,94	0,93	0,31	1,23	1,86
CCxD	0,10	0,13	0,03	1,17	0,24	3,48 *
CxCCxD	0,61	1,92	1,07	0,75	0,87	1,00
CV%	13,75	17,47	13,94	18,56	11,3	14,16
DMS						
C	3,6	0,4	1,1	2,0	----	0,4
CC	----	----	0,5	0,9	----	----
D	----	----	----	----	----	----

T1: 8,05 t ha⁻¹; T2: 13,7 t ha⁻¹ + 1,7 t ha⁻¹; T3: 8,86 t ha⁻¹; T4: 12,89 t ha⁻¹ + 1,7 t ha⁻¹; T5: 0,81 t ha⁻¹; **,respectivamente significativo a 5% pelo teste F ($p \leq 0,05$), significativo a 1% pelo teste F ($p \leq 0,01$). Médias seguidas pela mesma letra na coluna, para cada fator, não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade. **Fonte:** Próprio autor.

Para os teores de N, P, K, Ca e S, observou-se diferença significativa entre os tratamentos de calagem. No teor de N e P, os tratamentos T1, T2, T3 e T4 diferiram significativamente do T5, apresentando os maiores valores de N e P g/kg em relação a este último (T5). Para o teor de K o T5 de calagem proporcionou o maior valor deste nutriente em relação aos demais tratamentos. Já para o teor de Ca o T4 de calagem foi o tratamento que possibilitou maior valor deste elemento quando comparado com os demais tratamentos de calagem. No teor de S foi observado que o T3 de calagem apresentou a maior concentração desse elemento em relação ao T1, T2, T4 e T5.

A calagem aumenta a disponibilidade de P, devido reduzir sua adsorção a óxidos, principalmente de Al (AULER *et al.*, 2019), conforme observado no ano de 2021 (Tabela 10). Além disso, o aumento do pH do solo por efeito da calagem aumenta a retenção de cátions básicos devido a maior ocorrência das cargas elétricas variáveis negativas, que são geradas na superfície dos colóides pela dissociação do H^+ dos grupos hidroxila e com isso há maior disponibilidade de nutrientes às plantas (CAIRES *et al.*, 2006).

Para os teores de K e Ca verificou-se que com a utilização da crotalária como cultura de cobertura a concentração desses nutrientes foi maior em relação a encontrada nas folhas de milho. De acordo com Rosolem e Calonego (2013), como a crotalária apresenta uma baixa relação C/N sua decomposição é mais acelerada que a do milho e assim há uma liberação mais rápida de nutrientes ao solo. Segundo Silva *et al.* (2006), as plantas de cobertura possuem a característica de promover o acúmulo da maioria dos nutrientes do solo, principalmente, no caso da crotalária. Esta, vem sendo uma excelente alternativa para acúmulo e ciclagem dos nutrientes, apresentando valores expressivos (PEREIRA *et al.*, 2017).

O desdobramento da interação de cultura de cobertura x doses de N foi significativo ($p \leq 0,5$) para os teores foliares de S em função dos tratamentos utilizados. Foi observado diferença significativa entre as culturas de cobertura com a aplicação de 90 kg ha^{-1} de N, sendo encontrado o maior teor de S nas plantas de crotalária (Tabela 10). Provavelmente, está relacionado a decomposição mais rápida da crotalária em relação ao milho. De acordo Rosolem *et al.* (2018), plantas leguminosas devido à baixa relação C/N têm

seus resíduos mineralizados mais rapidamente e, com isso, há uma maior liberação de nutrientes.

Tabela 10. Desdobramento da interação culturas de cobertura (CC) x doses de N, significativa para os teores foliares de enxofre, em função dos tratamentos. Selvíria – MS, 2020.

Tratamento	0	90	180	DMS
	g kg ⁻¹			
Milheto	3,1 Aa	2,9 Ab	3,3 Aa	0,4
Crotalária	3,3 Aa	3,6 Aa	3,4 Aa	
DMS	0,3			

T1: 8,05 t ha⁻¹; T2: 13,7 t ha⁻¹ + 1,7 t ha⁻¹; T3: 8,86 t ha⁻¹; T4: 12,89 t ha⁻¹ + 1,7 t ha⁻¹; T5: 0,81 t ha⁻¹. Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna, não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade. **Fonte:** Próprio autor.

Nos resultados dos teores foliares de cobre (Cu), manganês (Mn) e zinco (Zn) em plantas de soja foi observado efeito do fator calagem apenas para os teores de Cu, para o ano agrícola 2019/20 e Mn, para ambos os anos agrícolas estudados. Já o efeito do fator cultura de cobertura foi verificado apenas para o teor de Mn e do fator doses de N somente para o teor de cobre. Não foi constatado efeitos dos fatores calagem, cultura de cobertura e doses de N sobre o teor de Zn (Tabela 11).

Para o teor de Cu, observou-se diferença significativa entre os tratamentos de calagem, sendo o maior teor deste elemento encontrado no T2. Também foi verificado efeito significativo dos tratamentos de calagem para o teor de Mn, porém, o maior valor de teor desse elemento foi obtido quando se trabalhou com o T5 (sem calagem), para o ano agrícola de 2020/21. Fonseca *et al.* (2010), apontam que a calagem superficial realizada em SPD pode reduzir a disponibilidade de micronutrientes catiônicos como o Mn por consequência do aumento do pH na camada mais superficial do solo.

O tipo de cobertura adotada também influenciou sobre o teor de Mn nas folhas de soja. Foi verificado que o tratamento que utilizou a crotalária como cultura de cobertura aumentou a concentração de Mn nas folhas de soja em relação ao tratamento com milheto. Silva *et al.* (2014) atribuem as maiores concentrações de micronutrientes catiônicos à maior ciclagem e acúmulo de nutrientes nas camadas do solo sob plantio direto, e aos baixos valores de pH

do solo, quando não são altos o suficiente para limitar a disponibilidade desses micronutrientes. Assim, acredita-se que como a crotalária possui baixa relação C/N e se decompõe mais rapidamente que o milho, pode ter proporcionado esse maior acúmulo de Mn nas folhas de soja.

Tabela 11. Resumo da análise estatística e médias dos teores foliares de Cu, Mn e Zn, em soja, em função dos tratamentos. Selvíria – MS, 2020/2021.

Tratam.	Cu		Mn		Zn	
	2020	2021	2020	2021	2020	2021
mg/kg						
Manejo de Correção (t ha ⁻¹) (C)						
T1	49,6	14,2	133,8	277,0	132,0	79,9
T2	60,7	17,0	100,8	305,0	138,9	78,1
T3	57,8	14,7	126,8	329,0	127,7	87,6
T4	58,1	13,3	125,9	285,0	138,4	79,2
T5	50,2	11,3	100,8	481,0	129,1	79,5
C. Cob. (CC)						
Milheto	50,8	14,4	121,7	264	131,3	78,8
Crotalária	59,8	13,8	124,2	406	135,1	82,9
Doses de N (D)						
0	57,6	13,4	118,9	299,0	130,6	81,5
90	53,4	13,0	121,8	336,0	135,5	78,0
180	54,8	16,0	128,1	371,0	133,5	83,0
Teste F						
C	0,98	7,56 **	4,71**	17,13 **	0,98	2,17
CC	3,91	0,83	0,21	61,59 **	0,65	3,36
D	0,29	7,70 **	0,94	5,31	0,36	1,65
CxCC	0,43	8,89 **	2,63*	0,62	1,36	2,40
CxD	1,87	6,93 **	0,59	1,03	1,25	1,16
CCxD	2,00	1,93	0,62	3,14	1,40	1,18
CxCCxD	1,11	11,19 **	0,50	2,29 *	0,30	0,85
CV%	39,05	22,59	21,55	25,59	16,73	13,38
DMS						
C	----	----	----	----	----	----
CC	----	----	----	----	----	----
D	----	----	----	----	----	----

T1: 8,05 t ha⁻¹; T2: 13,7 t ha⁻¹ + 1,7 t ha⁻¹; T3: 8,86 t ha⁻¹; T4: 12,89 t ha⁻¹ + 1,7 t ha⁻¹; T5: 0,81 t ha⁻¹. *, **, respectivamente significativo a 5% pelo teste F (p≤0,05), significativo a 1% pelo teste F (p≤0,01). **Fonte:** Próprio autor.

O teor de Cu foi influenciado pelas doses de N, a aplicação de 180 kg N ha⁻¹ proporcionou um acúmulo de 16 mg kg⁻¹ de Cu, o maior em relação as demais doses aplicadas. A disponibilidade de micronutrientes é elevada em pH

mais baixo do solo devido a maior disponibilidade de cátions imposta por doses de N (BRADY *et al.*, 2008).

No desdobramento das interações entre calagem e culturas de cobertura para teores foliares de Cu, notou-se que ao utilizar o tratamento T3, o cultivo da soja sob o milheto, foi o que propiciou um maior teor deste nutriente quando comparado à crotalária. Ainda, é visualizado uma superioridade do tratamento T4 em relação aos demais tratamentos para a crotalária (Tabela 12).

Tabela 12. Desdobramento das interações calagem (C) x culturas de cobertura (CC), para teores foliares de cobre, em função dos tratamentos. Selvíria – MS, 2020.

Tratamento	milheto	crotalária	DMS
	mg/kg		
T1	134,0 abA	141,6 aA	25,0
T2	100,1 bA	101,5 bA	
T3	141,3 aA	112,4 abB	
T4	112,1 abB	139,7 aA	
T5	120,8 abA	125,8 abA	
DMS	35,2		

T1: 8,05 t ha⁻¹; T2: 13,7 t ha⁻¹ + 1,7 t ha⁻¹; T3: 8,86 t ha⁻¹; T4: 12,89 t ha⁻¹ + 1,7 t ha⁻¹; T5: 0,81 t ha⁻¹ Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. **Fonte:** Próprio autor.

Na combinação calagem x culturas de cobertura, observou-se que para o ano agrícola de 2020/21, o tratamento T2, proporcionou o maior teor foliar de Cu quando combinado com o milheto, já quando se utilizou a crotalária como cultura de cobertura o maior teor de Cu foi observado no T3. Por outro lado, quando se utilizou o milheto como cultura de cobertura foram obtidos maiores teores de Cu em folhas de soja no T1, T2 e T4 em relação a crotalária que possibilitou maior teor de Cu apenas quando combinada com T3 e T5. Para a interação de calagem x doses de N, o maior teor de Cu foi obtido para o T2 quando combinado com as doses de 90 e 180 kg ha⁻¹ de N. A dose de 180 kg ha⁻¹ de N, se destacou entre as demais quando combinada com o T3 proporcionando o maior teor de Cu (Tabela 13).

Tabela 13. Desdobramento das interações calagem (C) x culturas de cobertura (CC), calagem (C) x doses de N (D) e culturas de cobertura (CC) x doses de N (D), para os teores de cobre foliar, em função dos tratamentos. Selvíria – MS, 2021.

Tratamento	Milheto	Crotalária	DMS	0	90	180	DMS
	mg kg ⁻¹			mg kg ⁻¹			
T1	16,1 Aab	13,3 Ab	3,0	16,0 Aa	12,7 Aab	14,0 Ab	4,4
T2	18,8 Aa	15,2 Bab		11,7 Ba	17,5 Aa	21,8 Aa	
T3	12,3 Bbc	17,1 Aa		11,7 Ba	11,8 Bd	20,7 Aa	
T4	15,4 Aab	11,2 Bb		15,7 Aa	11,8 Ab	12,5 Ab	
T5	9,4 Bc	13,2 Aab		12,0 Aa	11,2 Ab	10,8 Ab	
DMS	4,2			5,2			
Tratamento	0			90		180	
Milheto	14,4 ABa			12,4 Ba		16,5 Aa	2,8
Crotalária	12,4 Ba			13,6ABa		15,5 Aa	
DMS	2,3						

T1: 8,05 t ha⁻¹; T2: 13,7 t ha⁻¹ + 1,7 t ha⁻¹; T3: 8,86 t ha⁻¹; T4: 12,89 t ha⁻¹ + 1,7 t ha⁻¹; T5: 0,81 t ha⁻¹. Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna, não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade. **Fonte:** Próprio autor.

A interação de cultura de cobertura x doses de N, demonstrou que a dose de 180 kg ha⁻¹ de N aumentou o teor de Cu em relação demais doses quando combinada tanto com o milho quanto com a crotalária. Como já foi discutido anteriormente, a aplicação de doses N pode contribuir para elevar o teor de micronutrientes como Cu.

Para o desdobramento da calagem x culturas de cobertura foram verificados maiores valores de teor de Mn combinado com todos os tratamentos de calagem quando se utilizou a crotalária como cultura de cobertura. O T5 (sem calagem) independentemente de combinado com a crotalária ou milho apresentou os maiores valores de teor de Mn em relação aos demais tratamentos de calagem. A interação dos fatores calagem x doses de N demonstrou que a dose de 180 kg ha⁻¹ de N quando combinada com o T5 apresentou o maior acúmulo de Mn as folhas de soja. Entre os tratamentos de calagem, o T5 combinado com todas as doses de N foi o tratamento que possibilitou o maior valor de teor de Mn (Tabela 14). De acordo com Malavolta *et al.* (1997), o aumento do pH após a calagem promove a redução principalmente dos teores de micronutrientes catiônicos no solo.

Tabela 14. Desdobramento das interações calagem (C) x culturas de cobertura (CC), calagem (C) x doses de N (D) e culturas de cobertura (CC) x doses de N (D), para os teores de manganês foliar, em função dos tratamentos. Selvíria – MS, 2021.

Tratamento	Milheto	Crotalária	DMS	0	90	180	DMS
	mg kg ⁻¹			mg kg ⁻¹			
T1	226 Bb	328 Ab	81	232 Ab	289 Ab	310 Ab	119
T2	228 Bb	383 Ab		299 Aab	305 Ab	312 Ab	
T3	271 Bb	387 Ab		319 Aab	300 Ab	370 Ab	
T4	206 Bb	363 Ab		260 Aab	262 Ab	332 Ab	
T5	391 Ba	570 Aa		384 Ba	524 Aa	533 Aa	
DMS	114			140			
Tratamento	0			90		180	
Milheto	248 AB b			234 Bb		311Ab	75
Crotalária	349 Ba			439 Aa		431 Aa	
DMS	63						

T1: 8,05 t ha⁻¹; T2: 13,7 t ha⁻¹ + 1,7 t ha⁻¹; T3: 8,86 t ha⁻¹; T4: 12,89 t ha⁻¹ + 1,7 t ha⁻¹; T5: 0,81 t ha⁻¹. Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna, não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade. **Fonte:** Próprio autor.

Na interação de cultura de cobertura x doses de N, a dose de 180 kg ha⁻¹ de N tanto na combinação com crotalária quanto com milheto forneceu maior teor de Mn. Este resultado possivelmente é explicado pelo aumento das doses de N, ou seja, maiores teores de nitrogênio tendem a acidificar o solo, diminuindo o pH, dessa forma, alguns micronutrientes, como cobre e manganês, se beneficiam dessa diminuição, aumentando sua disponibilidade na solução do solo, conforme evidenciado por Malavolta *et al.* (1997). Com relação à cultura de cobertura, observou-se que quando combinada com as doses de N, evidenciou efeito significativo do aumento do teor de Mn, quando se adotou a crotalária. Isso ocorreu devido a crotalária ser uma leguminosa e, quando combinada com a aplicação de doses de N pode ocasionar a redução do pH e, conseqüentemente, elevar o teor de micronutrientes (OBOUR *et al.*, 2017), conforme já citado anteriormente.

Os valores de população de plantas não apresentaram diferenças significativas em entre os tratamentos dos três fatores estudados. Para as características agrônômicas (altura de plantas, número de vagens e massa de 100 grãos) verificou-se efeito do fator calagem sobre a altura de plantas, número de vagens e para a massa de 100 grãos na safra 2020/21. Também

houve efeito do fator calagem sobre produtividade de grãos de soja. O fator cultura de cobertura manifestou efeito sobre a massa de 100 grãos na safra 2020/21 e para a produtividade de grãos de soja. Não ocorreu efeito do fator doses de N sobre as variáveis avaliadas (Tabela 15).

Tabela 15. Resumo da análise estatística e médias de população de plantas, características agrônômicas e produtividade de grãos de soja, em função dos tratamentos. Selvíria – MS, safras 2019/20 e 2020/21.

Tratam.	População plantas ha ⁻¹		Alt.Pl. cm	N. vag./pl.	Massa 100 grãos g		Produtividade kg ha ⁻¹	
	2019/20	2020/21			2020/21	2020/21	2019/20	2020/21
Manejo de Correção (t ha ⁻¹) (C)								
T1	232716	295678	110,8 a	44,3 ab	15,1	15,5 a	3615	3687 a
T2	258642	283950	105,0 a	46,2 a	15,9	15,5 a	4043	3863 a
T3	250000	294444	110,3 a	42,6 ab	15,4	15,4 a	3928	3678 a
T4	245678	278395	105,1 a	42,4 ab	15,5	15,3 a	3996	3767 a
T5	254320	298148	95,7 b	37,7 b	15,6	14,5 b	3998	3234 b
C. Cobert. (CC)								
Milheto	246172	295308	104,4	41,8	15,4	14,8 b	3987	3381 b
Crotalária	250370	284938	106,4	43,5	15,6	15,6 a	3840	3910 a
Doses de N (D)								
0	244814	286296	105,8	41,3	15,6	15,5	3990	3674
90	251111	291111	105,4	42,4	15,5	15,0	3887	3649
180	248888	292963	104,9	44,3	15,4	15,2	3865	3614
Teste F								
C	1,06	1,10	7,20 **	2,30**	1,73	3.60*	1,92	5,87 **
CC	0,24	2,04	0,99	0,89	1,08	16,07 **	1,75	35,13 **
D	0,18	0,30	0,07	0,87	0,75	2,41	0,48	0,15
CxCC	0,17	0,43	0,16	0,51	0,28	0,63	0,70	0,91
CxD	0,49	1,36	0,67	1,96	2,00	0,63	0,51	1,16
CCxD	0,08	2,01	1,03	0,68	0,31	1,71	0,08	0,72
CxCCxD	1,48	1,14	0,39	0,97	1,37	0,68	1,55	0,68
CV%	16,48	11,86	9,09	20,67	5,53	6,18	13,49	11,61
DMS								
C	----	----	9,00	8,3	----	0,9	----	282
CC	----	----	----	----	----	0,4	----	178
D	----	----	----	----	----	----	----	----

T1: 8,05 t ha⁻¹; T2: 13,7 t ha⁻¹ + 1,7 t ha⁻¹; T3: 8,86 t ha⁻¹; T4: 12,89 t ha⁻¹ + 1,7 t ha⁻¹; T5: 0,81 t ha⁻¹. *, **, respectivamente significativo a 5% pelo teste F (p≤0,05), significativo a 1% pelo teste F (p≤0,01). Médias seguidas pela mesma letra na coluna, para cada fator, não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade. **Fonte:** Próprio autor.

Os tratamentos de calagem apresentaram diferenças significativas para a altura de plantas, sendo os maiores valores obtidos nos tratamentos T1, T2,

T3 e T4. Para o número de vagens, a aplicação do T2 possibilitou a maior quantidade, contudo, não diferindo do T1, T3 e T4, já o T5, com a menor dose de calcário apresentou o menor número de vagens, diferindo estatisticamente dos demais. Com relação à produtividade de soja para a safra 2020/21, observou-se que o menor valor ocorreu no tratamento T5, onde o mesmo acarretou um menor desenvolvimento de plantas, influenciando na quantidade de vagens por plantas e na massa de 100 grãos. De acordo com Costa *et al.* (2016), a aplicação de calagem, na região tropical, é extremamente importante para beneficiar a produção de grãos, mesmo em anos com distribuição regular de chuvas.

Em solos corrigidos com calcário, as plantas de soja aumentam os pigmentos fotossintéticos, assim como a taxa fotossintética líquida e a eficiência do uso da água, o resultado disso é o melhor desenvolvimento da cultura, repercutido diretamente sobre a produtividade de grãos (BOSSOLANI *et al.*, 2021).

Houve diferença significativa entre os tratamentos de cultura de cobertura para a massa de grãos na safra 2020/21 e para a produtividade de grãos de soja, quando se utilizou a crotalária como cultura de cobertura ocorreu um maior incremento nessas duas variáveis em relação ao uso de milho. De acordo com Seben Junior *et al.* (2016), a crotalária, devido sua capacidade fixar o N atmosférico e de rápida decomposição por apresentar baixa relação C:N, favorece o aumento da disponibilidade de nitrogênio, necessário para o rápido processamento do resíduo nas frações particuladas de carbono do solo e com isso incrementa a produtividade das culturas (SEBEN JUNIOR *et al.*, 2016).

5. CONCLUSÕES

A aplicação de calagem aumentou o pH do solo e o teor de nutrientes N, P, Ca e S, sobretudo nas camadas superficiais;

As doses de N de 90 e 180 kg ha⁻¹ promoveram o aumento da acidez, principalmente, nas subcamadas do solo

Os teores de Cu e Mn nas folhas de soja foram reduzidos com a aplicação de calagem e aumentados com aplicação de doses de N.

A crotalária possibilitou maior acidificação do solo que o milheto, mas também proporcionou maior teor foliar de nutrientes na soja;

A produtividade da soja é aumentada tanto com a aplicação de calcário e como com a utilização de crotalária como cultura de cobertura.

REFERÊNCIAS

- AITA, C.; GIACOMINI, S. J. Matéria orgânica do solo, nitrogênio e enxofre nos diversos sistemas de exploração agrícola. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S.; VITTI, G. C. (ed). **Nitrogênio e enxofre na agricultura brasileira**. Piracicaba: IPNI Brasil, 2007. p. 1-42.
- ALCARDE, J. C.; RODELLA, A. A. Qualidade e legislação de fertilizantes e corretivos. In: CURTI, N.; MARQUES, J. J.; GUILHERME, L. R. G.; LIMA, J. M.; LOPES, A. S.; ALVAREZ V. V. H. (ed.) **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2003. p. 291- 334.
- ANTONANGELO, J. A.; FERRARI NETO, J.; CRUSCIOL, C. A. C.; ZHANG, H.; ALLEONI, L. R. F. Lime and calcium-magnesium silicate cause chemical attributes stratification in no-till Fields. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 224, p. 105522, 2022.
- ARAI, M.; MIURA, T.; TSUZURA, H.; MINAMIYA, Y.; KANEKO, N. Two-year responses of earthworm abundance, soil aggregates, and soil carbon to no-tillage and fertilization. **Geoderma**, Amsterdam, v. 332, p. 135-141, 2018.
- ARUN, M.; RADHAKRISHNAN, R.; AI, T. N.; NAING, A. H.; LEE, I. J.; KIM, C. K. Nitrogenous compounds enhance the growth of petunia and reprogram biochemical changes against the adverse effect of salinity. **The Journal of Horticultural Science and Biotechnology**, Abingdon, v. 91, p. 562–572, 2016.
- ASSIS, R. L.; FREITAS, R. S.; MASON, S. C. Pearl millet production practices in Brazil: A review. **Experimental Agriculture**, Cambridge, v. 54, n. 5, p. 699-718, 2018.
- AULER, A. C.; CAIRES, E. F.; PIRES, L. F.; GALETTO, S. L.; ROMANIW, J.; CHARNOBAY, A. C. Lime effects in a no-tillage system on Inceptisols in Southern Brazil. **Geoderma Regional**, Amsterdam, v. 15, p. e00206, 2019.
- BATTYE, W.; ANEJA, V. P.; SCHLESINGER, W. H. Is nitrogen the next carbon?. **Earth's future**, Oxford, v. 5, n. 9, p. 894-904, 2017.
- BESIN, M. R.; CONEGLIAN, C. F.; CASSIM, B. M. A. R.; KACHINSKI, W. D.; INOUE, T. T.; BATISTA, M. A. Forms of lime application and use of phosphogypsum in low acid soil in southern Brazil: soybean-wheat yield and soil chemical properties. **Revista Brasileira de Solos**, Viçosa, MG, v. 45, p. e0210001, 2021.
- BOLLIGER, A.; MAGID, J.; AMADO, T. J. C.; SKÓRA NETO, F.; RIBEIRO, M. F. S.; CALEGARI, A.; RALISCH, R.; NEERGAARD, A. Taking stock of the Brazilian “zero-till revolution”: A review of landmark research and farmers' practice. **Advances in agronomy**, Maryland Heights, v. 91, p. 47-110, 2006.

BONFIM-SILVA, E. M.; MONTEIRO, F. A. Nitrogênio e enxofre na adubação e em folhas diagnósticas e raízes do capim braquiária em degradação. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Vicosa, MG, v. 39, n. 8, p. 1641–1649, 2010.

BORTOLINI, D.; CASSOL, L. C.; PIVA, J. T.; BOSI, C.; ROCHA, K. F. Surface applied lime dynamics and base saturation index in a consolidated no-tillage área. **Comunicata Scientiae**, Bom Jesus, v. 7, n. 4, p. 473-485, 2016.

BOSSOLANI, J. W.; CRUSCIOL, C. A. C.; PORTUGAL, J. R.; MORETTI, L. G.; GARCIA, A.; RODRIGUES, V. A.; FONSECA, M. C.; BERNART, L.; VILELA, R. G.; MENDONÇA, L. P.; REIS, A. R. Long-term liming improves soil fertility and soybean root growth, reflecting improvements in leaf gas exchange and grain yield. **European Journal of Agronomy**, Amsterdam, v. 128, p. 126308, 2021.

BRADY, Nyle C.; WEIL, Ray R.; WEIL, Ray R. **The nature and properties of soils**. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 2008.

BRONICK, C. J.; LAL, R. Soil structure and management: a review. **Geoderma**, Amsterdam, v. 124, n. 1-2, p. 3-22, 2005.

BROWN, T. T.; KOENIG, R. T.; HUGGINS, D. R.; HARSH, J. B.; ROSSI, R. E. Lime effects on soil acidity, crop yield, and aluminum chemistry in direct-seeded cropping systems. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 72, p. 634-640, 2008.

CAIRES, E.F.; FONSECA, A.F.; MENDES, J.; CHUEIRI, W.A.; MADRUGA, E.F. Produção de milho, trigo e soja em função das alterações das características químicas do solo pela aplicação de calcário e gesso na superfície, em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 23, p. 315-327, 1999.

CAIRES, E. F.; BANZATTO, D. A.; FONSECA, A. F. Calagem na superfície em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 24, n. 1, p. 161-169, 2000.

CAIRES, E. F. *et al.* Alterações químicas do solo e resposta da soja ao calcário e gesso aplicados na implantação do sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 27, n. 275-286, 2003.

CAIRES, E. F.; BARTH, G.; GARBUIO, F. J. Lime application in the establishment of a no-till system for grain crop production in Southern Brazil. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 89, p. 3–12, 2006.

CAIRES, E. F. *et al.* Effects of soil acidity amelioration by surface liming on no-till corn, soybean, and wheat root growth and yield. **European Journal of Agronomy**, Amsterdam, v. 28, p. 57-64, 2008.

CAIRES, E. F.; HALISKI, A.; BINI, A. R.; SCHARR, D. A. Surface liming and nitrogen fertilization for crop grain production under no-till management in Brazil. **European Journal of Agronomy**, Amsterdam, v. 66, p. 41-53, 2015.

CAIRES, E. F.; JORIS, H. A. W.; CHURKA, S. Long-term effects of lime and gypsum additions on no-till corn and soybean yield and soil chemical properties in southern Brazil. **Soil use and Management**, Chichester, v. 27, n. 1, p. 45-53, 2011.

CANALLI, L. B. S.; SANTOS, J. B.; BENASSI, D. A.; FRANCISCO, A. L. O.; BENASSI, C.; AGUIAR, A. N.; CORDEIRO, E.; MENDES, R. S. Soil carbon and structural quality in crop rotations under no-tillage system. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, Curitiba, v. 63, p. e20190603, 2020.

CASTRO, G. S. A.; CRUSCIOL, C. A. C. Effects of superficial liming and silicate application on soil fertility and crop yield under rotation. **Geoderma**, Amsterdam, v. 195, p. 234-242, 2013b.

CASTRO, G. S. A.; CRUSCIOL, C. A. C. Yield and mineral nutrition of soybean, maize, and Congo signal grass as affected by limestone and slag. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 48, n. 6, p. 673-681, 2013a.

CORBEELS, M.; MARCHÃO, R. L.; SIQUEIRA NETO, M.; FERREIRA, E. G.; MADARI, B. E.; SCOPEL, E.; BRITO, O. R. Evidence of limited carbon sequestration in soils under no-tillage systems in the Cerrado of Brazil. **Scientific Reports**, Curitiba, v. 6, n. 1, p. 1-8, 2016.

CORTEZ, J. W.; MATOS, W. P. S.; ARCOVERDE, S. N. S.; CAVASSINI, V. H.; VALENTE, I. Q. M. Spatial variability of soil resistance to penetration in no tillage system. **Engenharia Agrícola**, [s. l.], v. 38, n. 5, p. 697-704, 2018.

COSTA, C. H. M.; CRUSCIOL, C. A. C. Long-term effects of lime and phosphogypsum application on tropical no-till soybean–oat–sorghum rotation and soil chemical properties. **European Journal of Agronomy**, Amsterdam, v. 74, p. 119-132, 2016.

COSTA, C. H. M.; CRUSCIOL, C. A. C.; FERRARI NETO, J.; CASTRO, G. S. A. Residual effects of superficial liming on tropical soil under no-tillage system. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 51, n. 9, p. 1633-1642, 2016.

CRUSCIOL, C. A. C.; MARQUES, R. R.; CARMEIS FILHO, A. C. A.; SORATTO, R. P.; COSTA, C. H. M.; FERRARI NETO, J.; CASTRO, G. S. A.; PARIZ, C. M.; CASTILHOS, A. M.; FRANZLUEBBERS, A. J. Lime and gypsum combination improves crop and forage yields and estimated meat production and revenue in a variable charge tropical soil. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Dordrecht, v. 115, n. 3, p. 347-372, 2019.

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

DERPSCH, R.; FRANZLUEBBERS, A. J.; DUIKER, S. W.; REICOSKY, D. C.; KOELLER, K.; FRIEDRICH, T.; STURNY, W. G.; SÁ, J. C. M.; WEISS, K. Why do we need to standardize no-tillage research?. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 137, p. 16-22, 2014.

DEUS, A. C. F.; BULL, L. T.; GUPPY, C. N.; SANTOS, S. M. C.; MOREIRA, L. L. Q. Effects of lime and steel slag application on soil fertility and soybean yield under a no till-system. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 196, p. 104422, 2020.

EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3 ed. Brasília, DF, 2013. 356 p.

EMBRAPA, **Sistemas de produção**. 5. ed. Sete Lagoas: [s. n.], 2016.

EVANS, C. E.; KAMPRATH, E. J. Lime response as related to percent Al saturation, solution Al, and organic matter content. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 34, n. 6, p. 893-896, 1970.

FAGERIA, N. K.; BALIGAR, V. C. Ameliorating soil acidity of tropical Oxisols by liming for sustainable crop production. **Advances in Agronomy**, Maryland Heights, v. 99, p. 345-399, 2008.

FAGERIA, N. K.; NASCENTE, A. S. Management of Soil Acidity of South American Soils for Sustainable Crop Production. **Advances in agronomy**, Maryland Heights, v. 128, p. 221-275, 2014.

FAGERIA, N. K.; SANTOS, A. B.; MOREIRA, A. Yield, Nutrient Uptake, and Changes in soil chemical properties as influenced by liming and iron application in common bean in a no-tillage system. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 41, p. 1740–1749, 2010.

FERRARI NETO, J.; FRANZLUEBBERS, A. J.; CRUSCIOL, C. A. C.; RIGON, J. P. G.; CALONEGO, J. C.; ROSELEM, C. A.; NASCIMENTO, C. A. C.; RIBEIRO, L. C. Soil carbon and nitrogen fractions and physical attributes affected by soil acidity amendments under no-till on Oxisol in Brazil. **Geoderma Regional**, Amsterdam, v. 24, p. e00347, 2021.

FONSECA, A. F.; CAIRES, E. F.; BARTH, G. Extraction methods and availability of micronutrients for wheat under a no-till system with a surface application of lime. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 67, p. 60-70, 2010.

GODSEY, C. B.; PIERZYNSKI, G. M.; MENGEL, D. B.; LAMOND, R. E. Changes in soil pH, organic carbon, and extractable aluminum from crop rotation and tillage. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 71, n. 3, p. 1038-1044, 2007.

GOULDING, K. W. T. Soil acidification and the importance of liming agricultural soils with particular reference to the United Kingdom. **Soil Use and Management**, Chichester, v. 32, p. 390–399, 2016.

HAN, J. SHI, J.; ZENG, L.; XU, J.; WU, L. Effects of nitrogen fertilization on the acidity and salinity of greenhouse soils. **Environ Sci Pollut Res**, [s. l.], v. 22, p. 2976–2986, 2015.

HARIDASAN, M. Nutrient cycling as a function of landscape and biotic characteristics. The Cerrados of Central Brazil. In: MCCLAIN, M. E.; VICTORIA, R. L.; RICHEY, J. E. (ed) **The Biochemistry of the Amazon Basin**. Oxford University Press, New York, p. 68-83, 2001.

HELYAR, K. R. The management of acid soils. In: WRIGHT, R. J.; BALIGAR, V. C.; MURRAN, R. P. (ed.). **Plant-soil interactions at low pH**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1991. p. 365-382.

HONTORIA, C.; GÓMEZ-PACCARD, C.; VÁZQUEZ, E.; MARISCAL-SANCHO, I.; ORDÓÑEZ-FERNÁNDEZ, R.; CARBONELL-BOJOLLO, R.; ESPEJO, R. Mid-long term effects of no tillage and Ca-amendment on degraded acid soils under contrasting weather conditions. **Soil and Tillage Research**, Chichester, v. 183, p. 83-92, 2018.

JORIS, H. A. W.; CAIRES, E. F.; BINI, A. R.; SCHARR, D. A.; HALISKI, A. Effects of soil acidity and water stress on corn and soybean performance under a no-till system. **Plant and Soil**, Amsterdam, v. 365, p. 409–424, 2013.

JORIS, H. A. W.; CAIRES, E. F.; SCHARR, D. A.; BINI, A. R.; HALISKI, A. Liming in the conversion from degraded pastureland to a no-till cropping system in Southern Brazil. **Soil and Tillage Research**, Chichester, v. 162, p. 68-77, 2016.

KAPPES, C.; ARF, O.; ANDRADE, J. A. C. Coberturas vegetais, manejo do solo, doses de nitrogênio e seus efeitos na nutrição mineral e nos atributos agrônômicos do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 37, p. 1322-1333, 2013.

KASCHUK, G.; NOGUEIRA, M. A.; LUCA, M. J.; HUNGRIA, M. Response of determinate and indeterminate soybean cultivars to basal and topdressing N fertilization compared to sole inoculation with *Bradyrhizobium*. **Field Crops Research**, v. 195, p. 21-27, 2016.

KIM, N.; ZABALOY, M. C.; GUAN, K.; VILLAMIL, M. B. Do cover crops benefit soil microbiome? A meta-analysis of current research. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 142, p. 107701, 2020.

LEAL A. J. F.; LAZARINI, E.; RODRIGUES, L. R.; MARCANDALLI, L. H. Forms of lime application, cover crops and nitrogen rates in maize. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 37, p. 491-501, 2013.

LI, M.; WANG, J.; GUO, D.; YANG, R.; FU, H. Effect of land management practices on the concentration of dissolved organic matter in soil: A meta-analysis. **Geoderma**, Amsterdam, v. 344, p. 74–81, 2019.

LONDERO, A. L.; MINELLA, J. P. G.; SCHNEIDER, F. J. A.; DEUSCHLE, D.; MENEZES, D.; EVRARD, O.; BOENI, M.; MERTEN, G. H. Quantifying the impact of no-till on runoff in southern Brazil at hillslope and catchment scales. **Hydrological Processes**, Oxford, v. 35, p. e14094, 2021.

LOPES, A. S.; GUILHERME, L. R. G. A career perspective on soil management in the Cerrado region of Brazil. **Advances in Agronomy**, Maryland Heights, v. 137, p. 1-72, 2016.

LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; FERREIRA, E. P.; SANTOS, L. L.; BEUTLER, S. J.; FERRAZ-JUNIOR, A. S. L. Frações oxidáveis do carbono orgânico do solo em sistemas de aleias sob Argissolo Vermelho-Amarelo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 33, p. 867-874, 2009.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: Potafós, 1997.

MARAFON, G.; BARBOSA, R. S.; LACERDA, J. J. J.; MARTINS, V.; SILVA, J. D. F.; COSTA JUNIOR, O. S. C and P pool restoration by a no-tillage system on Brazilian Cerrado Oxisol in Piauí State. **Environ Monit Assess**, Dordrecht, v. 192, p. 254, 2020.

OBOUR, A. K.; MIKHA, M. M.; HOLMAN, J. D.; STAHLMAN, P. W. Changes in soil surface chemistry after fifty years of tillage and nitrogen fertilization. **Geoderma**, Amsterdam, v. 308, p. 46–53, 2017.

OKUMA, I. G.; CRUZ, V. H.; NICOLAI, A. B.; FRIAS, Y. A.; CATÃO, H. C. R. M.; FERRARI, S.; BONINI, C. S.; PRADO, E. P.; LOPES, P. R. M.; LIMA, R. C.; TOMAZ, R. S. Productivity evaluation of soybean varieties inoculated with *Bradyrhizobium japonicum* in no-tillage system under *Urochloa ruziziensis* straw. **International Journal of Development Research**, [s. l.], v. 9, n. 8, p. 29197-29200, 2019.

PACHECO, L. P.; MIGUEL, A. S. D. C. S.; SILVA, R. G.; SOUZA, E. D.; PETTER, F. A.; KAPPES, C. Biomass yield in production systems of soybean sown in succession to annual crops and cover crops. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 52, n. 8, p. 582-591, 2017.

PEIXOTO, D. S.; SILVA, B. M.; OLIVEIRA, G. C.; MOREIRA, S. G.; SILVA, F.; CURI, N. A soil compaction diagnosis method for occasional tillage recommendation under continuous no tillage system in Brazil. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 194, p. 104307, 2019.

PEREIRA FILHO, I. A. Apresentação. In: Pereira Filho, I. A. (ed.). **Cultivo do Milheto**. 5. ed. [S. l.]: EMBRAPA Milho e Sorgo, 2016. Disponível em: https://www.spo.cnptia.embrapa.br/conteudo?p_p_id=conteudoportlet_WAR_sistemasdeproducaof6_1ga1ceportlet&p_p_lifecycle=0&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_col_id=column1&p_p_col_count=1&p_r_p_76293187_sistemaProducaoId=8101&p_r_p_-996514994_topicId=9018. Acesso em: 07 set. 2022.

PEREIRA, Alan P *et al.* Ciclagem de nutrientes por plantas de cobertura de verão. **Revista de Ciências Agrárias**, [s. l.], p. 799-807, 27 set. 2017.

PIEROZAN JUNIOR, FAVARIN, J. L.; LAGO, B. C.; ALMEIDA, R. E. M.; OLIVEIRA, S. M.; TRIVELIN, P. C. O.; OLIVEIRA, F. B.; GILABEL, A. P. Nitrogen fertilizer recovery and partitioning related to soybean yield. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, Heidelberg, v. 20, p. 2566–2578, 2020.

PROCÓPIO, L., BARRETO, C. The soil microbiomes of the Brazilian Cerrado. **Journal Soils Sediments**, Heidelberg, v. 21, p. 2327–2342, 2021.

RAIJ, B. van; QUAGGIO, J.A. **Métodos de análise química do solo para fins de fertilidade**. Campinas: Instituto Agrônômico, 1983. 31 p. (Boletim Técnico, 81).

RAMIREZ-VILLANUEVA, D. A.; BELLO-LÓPEZ, J. M.; NAVARRO-NOYA, Y. E.; LUNA-GUIDO, M.; VERHULST, N.; GOVAERTS, B.; DENDOOVEN, L. Bacterial community structure in maize residue amended soil with contrasting management practices. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v. 90, p. 49-59, 2015.

RAPHAEL, J. P. A.; CALONEGO, J. C.; MILORI, D. M. B. P.; ROSOLEM, C. A. Soil organic matter in crop rotations under no-till. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 155, p. 45–53, 2016.

RHEINHEIMER, D. S.; TIECHER, T.; GONZATTO, R.; ZAFAR, M.; BRUNETTO, G. Residual effect of surface-applied lime on soil acidity properties in a long-term experiment under no-till in a Southern Brazilian sandy Ultisol. **Geoderma**, Amsterdam, v. 313, p. 7-16, 2018.

RIGON, J. P. G.; FRANZLUEBBERS, A.J.; CALONEGO, J.C. Soil aggregation and potential carbon and nitrogen mineralization with cover crops under tropical no-till. **Journal of Soil and Water Conservation**, Ankeny, v. 75, n. 5, p. 601-609, 2020.

ROSOLEM, C. A.; CALONEGO, J. C. Phosphorus and potassium budget in the soil-plant system in crop rotations under no-till. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 126, p. 127-133, 2013.

ROSOLEM, C. A.; CASTOLDI, G.; PIVETTA, L. A.; OCHSNER, T. E. Nitrate leaching in soybean rotations without nitrogen fertilizer. **Plant Soil**, Dordrecht, v. 423, p. 27–40, 2018.

ROSOLEM, C. A.; LI, Y.; GARCIA, R. A. Soil carbon as affected by cover crops under no-till under tropical climate. **Soil Use and Management**, Chichester, v. 32, p. 495–503, 2016.

RUSU, T. Energy efficiency and soil conservation in conventional, minimum tillage and no-tillage. **International Soil and Water Conservation Research**, Beijing, v. 2, p. 42-49, 2014.

SANTOS, I. L.; CAIXETA, C. F.; SOUSA, A. A. T. C.; FIGUEIREDO, C. C.; RAMOS, M. L. G.; CARVALHO, A. M. Cover plants and mineral nitrogen: effects on organic matter fractions in an oxisol under no-tillage in the Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 38, p. 1874-1881, 2014.

SEBEN JUNIOR, G. F.; CORÁ, J. E.; LAL, R. Physical quality of an Oxisol under no-tillage subjected to different cropping systems. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 51, n. 9, p. 1568-1574, 2016.

SHEKINAH, D. E.; STUTE, J. K. Sunn Hemp: A legume cover crop with potential for the midwest?. **Sustainable Agriculture Research**, Beaver Creek, v. 7, n. 4, p. 63-69, 2018.

SILVA, E. C. *et al.* ACÚMULO DE NUTRIENTES EM PLANTAS DE COBERTURA E NO MILHO CULTIVADO EM SUCESSÃO SOB DIFERENTES DOSES DE NITROGÊNIO EM PLANTIO DIRETO. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, ano 2, v. 5, p. 202-217, 2006.

SILVA, H. A.; MORAES, A.; CARVALHO, P. C. F.; FONSECA, A. F.; CAIRES, E. F.; DIAS, C. T. S. Chemical and physical soil attributes in integrated crop-livestock system under no-tillage. **Revista Ciência Agronômica**, [s. l.], v. 45, n. 5 (Especial), p. 946-955, 2014.

SILVA, P. C. G.; TIRITAN, C. S.; ECHER, F. R.; CORDEIRO, C. F. S.; REBONATTI, M. D.; SANTOS, C. H. No-tillage and crop rotation increase crop yields and nitrogen stocks in sandy soils under agroclimatic risk. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 258, p. 107947, 2020.

SINGH, G.; DHAKAL, M.; YANG, L.; KAUR, G.; WILLIARD, K. W. J.; SCHOONOVER, J. E.; SADEGHPOUR, A. Decomposition and nitrogen release of cover crops in reduced- and no-tillage systems. **Agronomy Journal**, Amsterdam, v. 112, n. 5, p. 3605-3618, 2020.

SOUZA, R. C.; MENDES, I. C.; REIS-JUNIOR, F. B.; CARVALHO, F. M.; NOGUEIRA, M. A.; VASCONCELOS, A. T. R.; VICENTE, V. A.; HUNGRIA, M. Shifts in taxonomic and functional microbial diversity with agriculture: How fragile is the Brazilian Cerrado?. **BMC Microbiology**, London, v. 16, n. 42, 2016.

TAVARES, R. L. M.; ASSIS, R. L.; FERREIRA, R. V.; MENEZES, J. F. S.; SIMON, G. A.; BOLDRIN, P. F.; CANTÃO, V. C. G. Long term application of pig manure on the chemical and physical properties of Brazilian Cerrado soil. **Carbon Management**, Abingdon, v. 10, n. 6, p. 541-549, 2019.

TEIXEIRA, W. G.; BRASIL, E. P. F.; LEANDRO, W. M.; SOUSA, J. L. O.; RIBEIRO, C. F.; ARAUJO, W. A. Soil acidity indicators for liming in tropical acid soils cropped with soybean under short- and long-term no-tillage systems. **Journal of Agricultural Science**, Cambridge, v. 14, n. 8, 2022.

UEXKULL, V. L.; MUTERT, E. Global extent, development and economic impact of acid soils. In: DATE, R. A.; GRUNDON, N. J.; RAYMENT, G. E.; PROBERT, M. E. (ed.). **Plant-Soil Interactions at Low pH: Principles and Management**. Boston: Kluwer Academic Publications, 1995. p. 5-19.

VÁZQUEZ, E.; BENITO, M.; ESPEJO, R.; TEUTSCHEROVA, N. No-tillage and liming increase the root mycorrhizal colonization, plant biomass and N content of a mixed oat and vetch crop. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 200, p. 104623, 2020.

VERZEAUX, J.; ROGER, D.; LACOUX, J.; NIVELLE, E.; ADAM, C.; HABBIB, H.; HIREL, B.; DUBOIS, F.; TETU, T. In winter wheat, no-till increases mycorrhizal colonization thus reducing the need for nitrogen fertilization. **Agronomy**, Basel, v. 6, n. 2, p. 38, 2016.

WAKWOYA, M. B.; WOLDEYOHANNIS, W. H.; YIMAMU, F. K. Effects of minimum tillage and liming on maize (*Zea mays* L.) yield components and selected properties of acid soils in Assosa Zone, West Ethiopia. **Journal of Agriculture and Food Research**, Amsterdam, v. 8, p. 100301, 2022.

WEBER, M.A.; MIELNICZUK, J. (2009). Estoque e disponibilidade de nitrogênio no solo em experimento de longa duração. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 33, p. 429-437, 2009.

WU, G.; CHEN, Z.; JIANG, N.; JIANG, H.; CHEN, L. Effects of long-term no-tillage with different residue application rates on soil nitrogen cycling. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 212, p. 105044, 2021.

XAVIER, C. V. MOITINHO, M. R.; TEIXEIRA, D. B.; SANTOS, G. A. A.; BARBOSA, M. A.; MILORI, D. M. B.; RIGOBELLO, E.; CORÁ, J. E.; SCALA JUNIOR, N. L. Crop rotation and succession in a no-tillage system: Implications for CO₂ emission and soil attributes. **Journal of Environmental Management**, Amsterdam, v. 245, p. 8-15, 2019.

ZOTARELLI, L.; ZATORRE, N. P.; BODDEY, R. M.; URQUIAGA, S.; JANTALIA, C. P.; FRANCHINI, J. C.; ALVES, B. J. R. Influence of no-tillage and frequency of a green manure legume in crop rotations for balancing N outputs and preserving soil organic C stocks. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 132, p. 185-195, 2012.

ZUFFO, A. M.; STEINER, F.; BUSCH, A.; ZOZ, T. Response of early soybean cultivars to nitrogen fertilization associated with *Bradyrhizobium japonicum* inoculation. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Brasília, DF, v. 48, n. 4, p. 436-446, 2018.