

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO CÂMPUS UNIVERSITÁRIO DE RONDONÓPOLIS INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E TECNOLÓGICAS PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

RAYANE GABRIEL DA SILVA

SISTEMAS DE PRODUÇÃO DE SOJA EM PLANTIO DIRETO COM CALAGEM SUPERFICIAL E SEUS EFEITOS NA DINÂMICA DE NEMATOIDES, ATRIBUTOS QUÍMICOS E BIOLÓGICOS DO SOLO

RONDONÓPOLIS – MT 2020



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO CÂMPUS UNIVERSITÁRIO DE RONDONÓPOLIS INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E TECNOLÓGICAS PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

SISTEMAS DE PRODUÇÃO DE SOJA EM PLANTIO DIRETO COM CALAGEM SUPERFICIAL E SEUS EFEITOS NA DINÂMICA DE NEMATOIDES, ATRIBUTOS QUÍMICOS E BIOLÓGICOS DO SOLO

RAYANE GABRIEL DA SILVA

ENGENHEIRA AGRÔNOMA

Orientador: Prof. Dr. Leandro Pereira Pacheco

Dissertação apresentada ao Programa de Pósgraduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Mato Grosso, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola.

RONDONÓPOLIS – MT 2020

Dados Internacionais de Catalogação na Fonte.

S586s Silva, Rayane Gabriel da.

Sistemas de produção de soja em plantio direto com calagem superficial e seus efeitos na dinâmica de nematoides, atributos químicos e biológicos do solo / Rayane Gabriel da Silva. -- 2020

110 f.: il. color.; 30 cm.

Orientador: Leandro Pereira Pacheco.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Mato Grosso, Instituto de Ciências Agrárias e Tecnológicas, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Rondonópolis, 2020.

Inclui bibliografia.

1. acidez do solo. 2. calcário em superfície. 3. culturas de

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Permitida a reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte.



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO

PRÓ-REITORIA DE ENSINO DE PÓS-GRADUAÇÃO

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

FOLHA DE APROVAÇÃO

TÍTULO: SISTEMAS DE PRODUÇÃO DE SOJA EM PLANTIO DIRETO COM CALAGEM SUPERFICIAL E SEUS EFEITOS NA DINÂMICA DE NEMATOIDES, ATRIBUTOS QUÍMICOS E BIOLÓGICOS DO SOLO

AUTORA: MESTRANDA RAYANE GABRIEL DA SILVA

Dissertação defendida e aprovada em 31 de julho de 2020.

COMPOSIÇÃO DA BANCA EXAMINADORA

1. Doutor Leandro Pereira Pacheco (Presidente Banca / Orientador)

INSTITUIÇÃO: UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO

2. Doutora Niédja Marizze Cezar Alves (Examinador Interno) INSTITUIÇÃO: UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO

3. Doutora Rosangela Aparecida da Silva (Examinador Externo)

INSTITUIÇÃO: : FUNDAÇÃO MT

4. Doutor Tonny José Araújo da Silva (Examinador Suplente) INSTITUIÇÃO: UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO

RONDONÓPOLIS,31/07/2020.



Documento assinado eletronicamente por **LEANDRO PEREIRA PACHECO**, **Docente da Universidade Federal de Mato Grosso**, em 31/07/2020, às 17:28, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do <u>Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015</u>.



Documento assinado eletronicamente por NIEDJA MARIZZE CEZAR ALVES, Docente da Universidade Federal de Mato Grosso, em 03/08/2020, às 08:59, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do <u>Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015</u>.



Documento assinado eletronicamente por Rosangela Aparecida da Silva, Usuário Externo, em 03/08/2020, às 14:21, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015.



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site

http://sei.ufmt.br/sei/controlador_externo.php?
acesso_externo=0, informando o código verificador 2713122 e
o código CRC 5713F33F.

DEDICAÇÃO

Aos meus pais Roberto e Rosenilda, sinônimos de esforço, que me deram não somente a vida, mas a minha educação e incentivo profissional.

Ao meu esposo Claudinei, por toda dedicação, amor, paciência, que não mediu esforços em me ajudar.

Aos meus irmãos Rayara e Ryan, aos meus avós paternos José Francisco (*in memoriam*) e Maria, aos meus avós maternos João Gabriel e Luzia, aos meus tios(as) e primos(as), que sempre estiveram do meu lado e trabalharam incansavelmente, incentivando para a realização de mais esta conquista em minha vida profissional.

E à todas as pessoas que trabalham pelo progresso da agricultura brasileira.

AGRADECIMENTOS

À Deus primeiramente, pela vida, por sempre me iluminar e me guiar e por ter me privilegiada e proporcionada a realização deste importante curso.

À Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT), pela oportunidade concedida para realização deste curso, permitindo a realização de um sonho pessoal e profissional.

Ao professor Dr. Leandro Pereira Pacheco, pelo exemplo de pessoa, pela atenção, incentivo e interesse demonstrado como orientador deste trabalho.

A todos os professores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola (PPGEAgri) da UFMT, pela amizade, comprometimento, dedicação e contribuição na minha formação acadêmica.

À Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS – Câmpus de Chapadão do Sul) pela oportunidade em realizar disciplinas na modalidade de aluno visitante.

À Fundação de Apoio à Pesquisa Agropecuária de Mato Grosso (Fundação MT – Rondonópolis) por ter permitido a realização do projeto de pesquisa em sua estação experimental, bem como o suporte na condução do experimento e nas avaliações agronômicas de campo.

Ao laboratório de nematologia da Associação dos Produtores de Sementes de Mato Grosso (APROSMAT – Rondonópolis), em especial à M.Sc. Tania de Fátima Silveira dos Santos, por conceder as determinações nematológicas.

À Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, Planaltina – DF), em especial a Dra. leda de Carvalho Mendes, por realizar todas as análises de bioindicadores de qualidade do solo, juntamente com sua equipe.

À secretaria do PPGEAgri da UFMT, pela atenção e suporte prestado.

A todos meus familiares e amigos, pelo carinho, afeto e cumplicidade passados ao longo do meu desenvolvimento e pela torcida e apoio na realização deste curso.

A todos os amigos(as) de Graduação e de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da UFMT, pela amizade e agradável convivência, respeito e contribuição que ofereceram ao meu crescimento como ser humano e prazer das vivências divididas nesse período oportuno.

Enfim, desejo expressar os mais sinceros agradecimentos a todas as pessoas que, neste momento, imerecidamente não foram aqui mencionadas, de uma forma ou de outra, sabem que contribuíram e incentivaram a realização deste trabalho.

SISTEMAS DE PRODUÇÃO DE SOJA EM PLANTIO DIRETO COM CALAGEM SUPERFICIAL E SEUS EFEITOS NA DINÂMICA DE NEMATOIDES, ATRIBUTOS QUÍMICOS E BIOLÓGICOS DO SOLO

RESUMO – A adoção indiscriminada da calagem superficial pode gerar desequilíbrios dos atributos químicos e biológicos do solo, dinâmica de nematoides e produtividades das culturas, cuja intensidade depende da dose do calcário e do sistema de produção adotado. O objetivo deste estudo foi avaliar os efeitos da calagem superficial em sistemas de produção em plantio direto de longa duração sobre os atributos químicos e biológicos do solo, populações de nematoides e produtividades de grãos de soja e milho safrinha no 10° e 11° ano de condução do experimento. O experimento foi instalado na safra 2008/2009 em Itiquira – MT, em um Latossolo Vermelho distrófico com textura argilosa. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados com os tratamentos dispostos em parcelas subdivididas, com quatro repetições. As parcelas foram constituídas por três sistemas de produção (monocultivo, sucessão e rotação de culturas) e as subparcelas por quatro doses de calcário dolomítico em superfície (0,0; 2,0; 4,0 e 8,0 Mg ha-1). Os resultados foram submetidos à análise de variância univariada e multivariada, comparando-se as médias de sistemas de produção pelo teste de Tukey (p<0,05) e doses de calcário analisadas por regressão. A sucessão de soja-milheto safrinha e a rotação de culturas propiciaram maiores teores de cálcio e magnésio trocáveis e resultaram em solo de maior qualidade biológica (matéria orgânica e atividades das enzimas β-glicosidase e arilsulfatase) na camada de 0,0-0,1 m em comparação ao monocultivo de soja. A rotação de culturas favoreceu a obtenção de maiores produtividades de grãos de soja e mostrou-se eficiente em reduzir os cistos viáveis e inviáveis e fêmeas de *Heterodera* glycines no solo e na raiz, contudo, não se apresentou eficaz na redução das populações de Helicotylenchus spp. O incremento nas doses de calcário diminuiu a produtividade de grãos de soja e as populações de Pratylenchus brachyurus e Helicotylenchus spp. e aumentou os cistos viáveis e inviáveis e fêmeas de H. glycines no solo e na raiz da soja.

Palavras-chave: acidez do solo, calcário em superfície, culturas de cobertura, rotação de culturas, *Glycine max*.

SOYBEAN PRODUCTION SYSTEMS IN NO-TILLAGE WITH SUPERFICIAL LIMING AND ITS EFFECTS ON NEMATODE DYNAMICS, CHEMICAL AND BIOLOGICAL ATTRIBUTES OF SOIL

ABSTRACT – The indiscriminate adoption of superficial liming can cause imbalances in the chemical and biological attributes of soil, nematode dynamics and crop yields, the intensity of which depends on the limestone rate and the production system adopted. The objective of this study was to evaluate the effects of superficial liming in long-term no-tillage production systems on the chemical and biological attributes of soil, nematode populations and soybean and off-season corn yields in the 10th and 11th year of experiment conduction. The experiment was installed in the 2008/2009 seasons crop in Itiquira – Mato Grosso State, in Cerrado dystrophic Red Latosol (Oxisol) with clay texture. The experimental design used was complete randomized blocks with treatments arranged in a split plot design, with four replications. The plots were consisted of three production systems (monoculture, succession and crop rotation) and the subplots by four rates of superficial dolomitic limestone (0.0; 2.0; 4.0 and 8.0 Mg ha-1). Results were submitted to univariate and multivariate analysis of variance, comparing the averages of production systems by Tukey test (p<0.05) and limestone rates analyzed by regression. The succession of soybean-millet and crop rotation provided higher levels of exchangeable calcium and magnesium and resulted in higher biological quality soil (organic matter and β-glucosidase and arylsulfatase enzyme activities) in the 0.0-0.1 m layer compared to soybean monoculture. Crop rotation favored higher soybean yields and proved to be efficient in reducing viable and unviable and female Heterodera glycines cysts in soil and root, however, it was not effective in reducing the *Helicotylenchus* spp. populations. The increase in limestone rates decreased the soybeans yield and Pratylenchus brachyurus and Helicotylenchus spp. populations and increased the viable and unviable and female cysts of *H. glycines* in the soil and soybean root.

Keywords: soil acidity, surface limestone, cover crops, crop rotation, *Glycine max*.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.	Valores diários de precipitação pluvial e de temperatura média mínima e máxima do ar registrados durante a condução do experimento (safras 2017/2018 e 2018/2019)
Figura 2.	Esquema da amostragem para avaliação de bioindicadores de qualidade de solo (safra 2018/2019)
Figura 3.	Teores de cálcio e magnésio trocáveis nas camadas de 0,0-0,1 m e de 0,1-0,2 m do solo em resposta às doses de calcário dolomítico em superfície (safra 2017/2018)
Figura 4.	Valores de pH em CaCl ₂ nas camadas de 0,0-0,1 m e de 0,1-0,2 m do solo em resposta às doses de calcário dolomítico em superfície (safra 2017/2018)
Figura 5.	Acidez potencial (H+ + Al³+) nas camadas de 0,0-0,1 m e de 0,1-0,2 m do solo em resposta às doses de calcário dolomítico em superfície (safra 2017/2018)
Figura 6.	Saturação por bases nas camadas de 0,0-0,1 m e de 0,1-0,2 m do solo em resposta às doses de calcário dolomítico em superfície (safra 2017/2018)
Figura 7.	Saturação por alumínio na camada de 0,1-0,2 m do solo em resposta às doses de calcário dolomítico em superfície (safra 2017/2018)
Figura 8.	Teores de potássio trocável na camada de 0,0-0,1 m do solo em resposta às doses de calcário dolomítico em superfície (safra 2017/2018) 50
Figura 9.	Produtividade de grãos de soja em três sistemas de produção em três sistemas de produção sob diferentes doses de calcário dolomítico em superfície (safra 2017/2018)
Figura 10.	Produtividade de grãos de soja em resposta às doses de calcário dolomítico em superfície (safra 2018/2019)
Figura 11.	Análise dos componentes principais explicando 69,61% da proporção da variação total dos resultados dos atributos químicos e bioindicadores de qualidade do solo nas camadas de 0,0-0,1 m e 0,1-0,2 m, fitomassa seca de parte aérea das culturas de cobertura, massa de mil grãos e produtividade de grãos de soja sob monocultivo, sucessão e rotação de culturas (safras 2017/2018 e 2018/2019)
Figura 12.	Pratylenchus brachyurus em amostras de solo coletadas no florescimento pleno da soja em três sistemas de produção sob diferentes doses de calcário dolomítico em superfície (safras 2017/2018 e 2018/2019) 71

Figura 13.	Pratylenchus brachyurus em amostras de raiz coletadas no florescimento pleno da soja em três sistemas de produção sob diferentes doses de calcário dolomítico em superfície (safras 2017/2018 e 2018/2019) 73
Figura 14.	Rotylenchulus reniformis em amostras de solo coletadas no florescimento pleno da soja em três sistemas de produção sob diferentes doses de calcário dolomítico em superfície (safras 2017/2018 e 2018/2019) 77
Figura 15.	Rotylenchulus reniformis em amostras de raiz coletadas no florescimento pleno da soja em três sistemas de produção sob diferentes doses de calcário dolomítico em superfície (safras 2017/2018 e 2018/2019) 79
Figura 16.	Helicotylenchus spp. em amostras de solo coletadas no florescimento pleno da soja em três sistemas de produção sob diferentes doses de calcário dolomítico em superfície (safras 2017/2018 e 2018/2019) 83
Figura 17.	Helicotylenchus spp. em amostras de raiz coletadas no florescimento pleno da soja em três sistemas de produção sob diferentes doses de calcário dolomítico em superfície (safras 2017/2018 e 2018/2019) 84
Figura 18.	Heterodera glycines em amostras de solo coletadas no florescimento pleno da soja em resposta às doses de calcário dolomítico em superfície (safra 2017/2018)
Figura 19.	Heterodera glycines em amostras de raiz coletadas no florescimento pleno da soja em três sistemas de produção sob diferentes doses de calcário dolomítico em superfície (safra 2017/2018)
Figura 20.	Heterodera glycines em amostras de solo e raiz coletadas no florescimento pleno da soja em resposta às doses de calcário dolomítico em superfície (safra 2018/2019)
Figura 21.	Cistos viáveis de <i>Heterodera glycines</i> em amostras de solo coletadas no florescimento pleno da soja em três sistemas de produção sob diferentes doses de calcário dolomítico em superfície (safras 2017/2018 e 2018/2019)
Figura 22.	Cistos inviáveis de <i>Heterodera glycines</i> em amostras de solo coletadas no florescimento pleno da soja em três sistemas de produção sob diferentes doses de calcário dolomítico em superfície (safras 2017/2018 e 2018/2019)
Figura 23.	Análise dos componentes principais explicando 58,10% e 58,93% da variação total dos resultados nas safras 2017/2018 e 2018/2019, respectivamente, das populações de nematoides em amostras de solo e raiz coletadas no florescimento pleno da soja, massa de mil grãos e produtividade de grãos de soja sob monocultivo, sucessão e rotação de culturas (safras 2017/2018 e 2018/2019)

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.	Características químicas e físicas do solo (Latossolo Vermelho distrófico) nas camadas de 0,0-0,1 m e de 0,1-0,2 m, para caracterização geral da área antes da instalação do experimento (safra 2008/2009)
Tabela 2.	Descrição sucinta dos tratamentos estudados no experimento (safras 2016/2017, 2017/2018 e 2018/2019)
Tabela 3.	Resumo da análise de variância e valores médios de teores de cálcio e magnésio trocáveis nas camadas de 0,0-0,1 m e de 0,1-0,2 m do solo em três sistemas de produção sob diferentes doses de calcário dolomítico em superfície (safra 2017/2018)
Tabela 4.	Resumo da análise de variância e valores médios de pH em CaCl ₂ e acidez potencial (H ⁺ + Al ³⁺) nas camadas de 0,0-0,1 m e de 0,1-0,2 m do solo em três sistemas de produção sob diferentes doses de calcário dolomítico em superfície (safra 2017/2018)
Tabela 5.	Resumo da análise de variância e valores médios de saturação por bases e saturação por alumínio nas camadas de 0,0-0,1 m e de 0,1-0,2 m do solo em três sistemas de produção sob diferentes doses de calcário dolomítico em superfície (safra 2017/2018)
Tabela 6.	Resumo da análise de variância e valores médios de teores de fósforo e potássio trocável nas camadas de 0,0-0,1 m e de 0,1-0,2 m do solo em três sistemas de produção sob diferentes doses de calcário dolomítico em superfície (safra 2017/2018)
Tabela 7.	Resumo da análise de variância e valores médios de atividade das enzimas β-glicosidase e arilsulfatase e teor de matéria orgânica do solo em amostras coletadas no florescimento pleno da soja, na camada de 0,0-0,1 m, em três sistemas de produção sob diferentes doses de calcário dolomítico em superfície (safra 2018/2019)
Tabela 8.	Resumo da análise de variância e valores médios de população final de plantas, massa de mil grãos e produtividade de grãos de soja em três sistemas de produção sob diferentes doses de calcário dolomítico em superfície (safras 2017/2018 e 2018/2019)
Tabela 9.	Produtividade de grãos de soja em três sistemas de produção sob diferentes doses de calcário dolomítico em superfície (safra 2017/2018)
Tabela 10.	Resumo da análise de variância e valores médios de população final de plantas, massa de mil grãos e produtividade de grãos de milho safrinha no sistema de rotação de culturas sob diferentes doses de calcário dolomítico em superfície (safrinha de 2019)

Tabela 11.	Resumo da análise de variância e valores médios de produtividade de fitomassa seca de parte aérea de milheto e braquiária nos sistemas de sucessão e rotação de culturas, respectivamente, sob diferentes doses de calcário dolomítico em superfície (safrinhas de 2018 e 2019)
Tabela 12.	Resumo da análise de variância multivariada demonstrando a correlação entre cada componente principal e os atributos químicos e bioindicadores de qualidade do solo nas camadas de 0,0-0,1 m e 0,1-0,2 m, fitomassa seca de parte aérea das culturas de cobertura, massa de mil grãos e produtividade de grãos de soja (safras 2017/2018 e 2018/2019) 64
Tabela 13.	Resumo da análise de variância e valores médios de <i>Pratylenchus brachyurus</i> em amostras de solo e raiz coletadas no florescimento pleno da soja em três sistemas de produção sob diferentes doses de calcário dolomítico em superfície (safras 2017/2018 e 2018/2019)
Tabela 14.	Pratylenchus brachyurus em amostras de solo e raiz coletadas no florescimento pleno da soja em três sistemas de produção sob diferentes doses de calcário dolomítico em superfície (safra 2017/2018)
Tabela 15.	Resumo da análise de variância e valores médios de <i>Rotylenchulus</i> reniformis em amostras de solo e raiz coletadas no florescimento pleno da soja em três sistemas de produção sob diferentes doses de calcário dolomítico em superfície (safras 2017/2018 e 2018/2019)
Tabela 16.	Rotylenchulus reniformis em amostras de solo e raiz coletadas no florescimento pleno da soja em três sistemas de produção sob diferentes doses de calcário dolomítico em superfície (safra 2017/2018)
Tabela 17.	Resumo da análise de variância e valores médios de <i>Helicotylenchus</i> spp. em amostras de solo e raiz coletadas no florescimento pleno da soja em três sistemas de produção sob diferentes doses de calcário dolomítico em superfície (safras 2017/2018 e 2018/2019)
Tabela 18.	Helicotylenchus spp. em amostras de solo e raiz coletadas no florescimento pleno da soja em três sistemas de produção sob diferentes doses de calcário dolomítico em superfície (safra 2017/2018)
Tabela 19.	Resumo da análise de variância e valores médios de <i>Heterodera glycines</i> em amostras de solo e raiz coletadas no florescimento pleno da soja em três sistemas de produção sob diferentes doses de calcário dolomítico em superfície (safras 2017/2018 e 2018/2019)
Tabela 20.	Heterodera glycines em amostras de raiz coletadas no florescimento pleno da soja em três sistemas de produção sob diferentes doses de calcário dolomítico em superfície (safra 2017/2018)

Tabela 21.	Resumo da análise de variância e valores médios de cistos viáveis e inviáveis de <i>Heterodera glycines</i> em amostras de solo coletadas no florescimento pleno da soja em três sistemas de produção sob diferentes doses de calcário dolomítico em superfície (safras 2017/2018 e 2018/2019)
Tabela 22.	Cistos viáveis e inviáveis de <i>Heterodera glycines</i> em amostras de solo coletadas no florescimento pleno da soja em três sistemas de produção sob diferentes doses de calcário dolomítico em superfície (safra 2017/2018)
Tabela 23.	Resumo da análise de variância multivariada demonstrando a correlação entre cada componente principal e populações de nematoides em amostras de solo e raiz coletadas no florescimento pleno da soja, população final de plantas, massa de mil grãos e produtividade de grãos de soja (safras 2017/2018 e 2018/2019)

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
2	REVISÃO DE LITERATURA	17
2.1	Sistemas de produção de grãos	17
2.2	Calagem superficial em sistema plantio direto	18
2.3	Bioindicadores de qualidade do solo	20
2.4	Nematoides nos sistemas de produção	22
3	MATERIAL E MÉTODOS	26
3.1	Caracterização da área experimental e dados climáticos	26
3.2	Tratamentos e delineamento experimental	28
3.3	Implantação e condução do experimento	29
3.3.1	Safra 2017/2018	29
3.3.2	Safra 2018/2019	31
3.4	Variáveis agronômicas mensuradas	33
3.4.1	Atributos químicos do solo	33
3.4.2	Bioindicadores de qualidade do solo	34
3.4.3	Dinâmica populacional de nematoides	35
3.4.4	População de plantas, produtividade de grãos e massa de mil grãos de s	oja
	e milho safrinha	36
3.4.5	Fitomassa seca de parte aérea das culturas de cobertura	37
3.5	Análise estatística dos resultados	37
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	38
4.1	Atributos químicos e bioindicadores de qualidade do solo, produtividade	de
	grãos e fitomassa seca de parte aérea das culturas de cobertura	38
4.2	Dinâmica populacional de nematoides	67
5	CONCLUSÕES	97
	REFERÊNCIAS	98
	ANEXOS 1	108

1 INTRODUÇÃO

O aumento das áreas agrícolas e a manutenção de cultivos durante quase todo o período do ano, possibilitaram o surgimento de novas doenças as quais tiveram aumento expressivo, devido principalmente à presença de bactérias, vírus, fungos e nematoides no solo. Em áreas onde ocorre o cultivo de soja anual ou bianual, os patógenos têm afetado a produtividade e proporcionado danos econômicos aos produtores. Entre estes, destacam-se os nematoides (HARTMAN et al., 2016), que tem sua multiplicação favorecida pela larga escala de cultivo de soja em regiões sob condições climáticas tropicais e subtropicais. Além disso, muitas vezes a soja é submetida à sistemas de produção inadequados, como o monocultivo.

No mundo é abordado a existência de cerca de 100 espécies de nematoides de 50 gêneros distintos que conseguem parasitar a cultura da soja (BRIDA et al., 2016; BELLÉ et al., 2017). No Brasil há cinco espécies consideradas as mais importantes para a soja: o nematoide das lesões radiculares (*Pratylenchus brachyurus*), os nematoides das galhas (*Meloidogyne javanica* e *M. incognita*), o nematoide reniforme (*Rotylenchulus reniformis*) e o nematoide de cisto (*Heterodera glycines*) (MEYER et al., 2017). Em Mato Grosso, a ordem decrescente de ocorrência destas espécies na soja é a seguinte: *P. brachyurus* > *H. glycines* > *M. javanica* > *M. incognita* > *R. reniformis* (SILVA et al., 2019). O reconhecimento destas espécies de nematoides é realizado por meio de observações visuais do sistema radicular da soja no campo e mediante análises laboratoriais.

O sistema de produção tem ação direta na dinâmica de algumas espécies de nematoides. Segundo Silva et al. (2018), o manejo de *P. brachyurus* tem sido baseado no uso de crotalárias, entre elas, a *Crotalaria ochroleuca*. Leandro & Asmus (2015) estudaram rotação e sucessão de culturas para o manejo de *R. reniformis* em área de produção de soja e ao término da pesquisa concluíram que a rotação com *C. ochroleuca* propiciou redução das populações desse nematoide em comparação ao monocultivo de soja. Silva et al. (2019) mencionaram que a sustentabilidade do cultivo de soja em áreas infestadas com *H. glycines* deve ser baseada na rotação de culturas, pois a matéria orgânica favorece o desenvolvimento de microrganismos capazes de parasitarem ovos e cistos de *H. glycines*. Contudo, é importante que o produtor esteja ciente que estas táticas de manejo não devem ser utilizadas de forma isolada e que a

inclusão de culturas não hospedeiras não ocasiona eliminação dos nematoides, mas sim, a redução populacional no solo.

Embora no sistema plantio direto o uso de culturas de cobertura possa reduzir os níveis populacionais dos nematoides, muitas dúvidas ainda persistem quanto ao manejo do calcário aplicado em superfície nesse sistema, principalmente, resultados oriundos de experimentos de longa duração. Segundo Zancanaro et al. (2019), em áreas sob este sistema, a calagem superficial deve ser utilizada como estratégia de manutenção dos níveis de acidez desejados, pois como a ação do calcário é lenta, devido ao menor contato entre as partículas de solo e o corretivo, e dependente de umidade no solo, a correção fica restrita às camadas superficiais, intensificando a dependência das culturas pelo fator clima. Entretanto, a aplicação superficial de calcário pode amenizar os efeitos nocivos da acidez em camadas mais profundas do solo em determinadas situações edafoclimáticas.

A hipótese que fundamentou a realização deste trabalho de longa duração é a de que a calagem superficial, adotada e definida sem critérios técnicos, possa gerar desequilíbrios não somente sobre os atributos químicos e biológicos do solo, mas também, sobre a dinâmica de nematoides no solo e nas raízes de soja e produtividades das culturas, cuja intensidade fica à mercê da dose do corretivo, do tempo e do sistema de produção adotado pelo produtor.

Diante do exposto, propôs-se o presente estudo com objetivo de avaliar os efeitos da calagem superficial em diferentes sistemas de produção em plantio direto de longa duração quanto às alterações nos atributos químicos e bioindicadores de qualidade do solo, dinâmica populacional de nematoides e produtividades de grãos de soja e milho safrinha.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Sistemas de produção de grãos

No cenário agropecuário ocorrem confusões nos conceitos de sistemas de cultivo e sistemas de produção. Conforme Hirakuri et al. (2012), o entendimento dos conceitos destes sistemas é pertinente e de fundamental importância para a avaliação da sustentabilidade da produção agrícola. Isso porque permitirá analisar as interações existentes entre tais sistemas, de tal forma que seja possível identificar e criar parâmetros e indicadores para a caracterização e avaliação das possíveis vulnerabilidades e potencialidades associadas a tais sistemas.

Por definição, os sistemas de cultivo referem-se às práticas comuns de manejo associadas a uma determinada espécie vegetal, visando sua produção a partir da combinação lógica e ordenada de um conjunto de atividades e operações. Os sistemas de produção são compostos pelo conjunto de sistemas de cultivo no âmbito de uma propriedade rural, definidos a partir dos fatores de produção (terra, capital e mão-de-obra) e interligados por um processo de gestão. A partir dos conceitos de interação e complexidade, base da teoria geral de sistemas (CHIAVENATO, 1993), os sistemas de produção foram classificados pela complexidade e pelo grau de interação entre os sistemas de cultivo, que formam tais sistemas de produção.

Segundo Hirakuri et al. (2012), os três principais sistemas de produção de grãos são classificados em: (i) sistema em monocultivo (ocorre quando a produção vegetal se dá de forma isolada em um período específico, tendo como exemplo a soja cultivada de forma intercalada por períodos de pousio durante vários anos consecutivos na mesma área); (ii) sistema em sucessão de culturas (ocorre quando se tem a repetição sazonal de uma sequência de duas espécies vegetais no mesmo espaço produtivo e dentro da mesma safra por longo tempo, tendo como exemplo, a sucessão de soja-milho safrinha); e (iii) sistema em rotação de culturas (ocorre por meio da alternância ordenada, cíclica (temporal) e sazonal de diferentes espécies vegetais em um espaço produtivo específico, tendo como exemplo, em uma área a adoção durante seis anos, sendo três ciclos de um sistema de rotação de dois anos, em que no primeiro ano tem-se milho consorciado com braquiária na safra, enquanto

que no segundo ano tem-se soja na safra e algodão na safrinha ou soja-crotalária na safra/safrinha).

A rotação de culturas é imprescindível nos sistemas de produção em qualquer sistema de manejo do solo, sendo que no plantio direto, ela expressa ainda mais o efeito de diferentes sistemas radiculares e composição da parte aérea, auxiliando na formação de ácidos orgânicos, liberados na sua decomposição e que auxiliam no restabelecimento do equilíbrio natural do solo (ALTMANN, 2010). Ademais, a rotação de culturas é uma importante ferramenta para mitigar os efeitos prejudiciais da agricultura, e quando praticada corretamente, tem efeitos diretos e indiretos sobre as propriedades químicas, físicas e biológicas do solo.

O uso de crotalária na safrinha tem aumentado nos últimos anos, impulsionado, basicamente, pelos problemas com nematoides, visando à redução das populações destes no solo. Outro aspecto importante é que devido à capacidade de fixação simbiótica do N₂, as crotalárias aumentam a disponibilidade de nitrogênio no solo, a sua absorção pela planta e produzem, em geral, fitomassas de baixa relação carbono/nitrogênio (C/N), cuja decomposição é relativamente rápida, com expressiva disponibilização de nitrogênio para as culturas subsequentes (KAPPES, 2015).

Apesar da diversidade de culturas disponíveis para as regiões de Cerrado, os sistemas de produção com rotação de culturas ainda são pouco utilizados e costumam ocorrer em casos pontuais e específicos, em áreas pequenas ou de forma parcial em grandes áreas (como algumas glebas da propriedade). A rotação de culturas, adotada por produtores e técnicos mais modernos, é utilizada como estratégia tecnológica a diversificação de culturas, buscando cada vez mais sistemas sustentáveis de produção. Mas, na maioria dos casos, a sua adoção se deve à uma determinada situação limitante à sustentação ou o incremento de produtividade das culturas principais (KAPPES & ZANCANARO, 2014), principalmente a presença de nematoides, condição que exige planejamento e uso da rotação de culturas.

2.2 Calagem superficial em sistema plantio direto

Para que os solos nas regiões de Cerrado possam ser cultivados e proporcionem boas colheitas das culturas, a calagem deve ser realizada com o objetivo de aumentar o pH do solo, os teores de cálcio e magnésio e reduzir os teores de alumínio trocável (SOUSA & LOBATO, 2004). As raízes da maioria das plantas

cultivadas não se desenvolvem adequadamente em solos ácidos, devido ao excesso de alumínio e/ou à deficiência de cálcio. Devido às interferências do alumínio no processo de divisão celular, elas paralisam seu crescimento e apresentam alterações morfológicas profundas (CAIRES, 2015). Além disso, a calagem permite maior eficiência no uso dos fertilizantes (RAIJ, 2011), pois com o aumento da capacidade de troca de cátions, ocorre menor lixiviação de potássio e menor fixação de fósforo, ambos nutrientes muito importantes nesses solos devido seus baixos teores.

Apesar dos problemas da acidez do solo serem, normalmente, corrigidos por meio da aplicação de calcário agrícola, com baixa solubilidade e variabilidade de partículas que os compõe (NATALE et al., 2007), muitas dúvidas ainda existem com relação ao seu manejo no sistema plantio direto, onde sua aplicação é feita na superfície, sem incorporação. A calagem superficial em áreas cultivadas deve ser utilizada como uma estratégia de manutenção dos níveis de acidez desejados em sistema plantio direto, pois como a sua ação é lenta, no primeiro ano, o efeito fica restrito aos primeiros centímetros de profundidade (ZANCANARO et al., 2019), provocando aumento de pH e dos teores de cálcio e magnésio até a profundidade de 0,1 m. Abaixo dessa camada, a influência do calcário normalmente é pequena.

Embora a calagem superficial, normalmente, não tenha efeito rápido na redução da acidez do subsolo, dependendo dos critérios empregados na recomendação, a aplicação superficial de calcário pode, ao longo dos anos, amenizar os efeitos nocivos da acidez em camadas mais profundas do solo (CAIRES, 2015). A aplicação de calcário na superfície, sem incorporação, cria uma frente de correção da acidez do solo em profundidade, proporcional à dose e ao tempo. A amenização da acidez, abaixo da camada de deposição do calcário, somente ocorre quando o pH, na zona de dissolução do calcário, atinge valores da ordem de 5,0 a 5,6. Em estudos que avaliaram camadas abaixo de 0,2 m, verificou-se que o calcário aplicado na superfície, em sistema plantio direto, melhorou as condições de acidez não só em camadas superficiais, como também, nas do subsolo (CAIRES et al., 2008).

Em contrapartida, no experimento conduzido por Cambri (2004) na região Sul do estado de Mato Grosso, em um Latossolo Vermelho distrófico sob sistema plantio direto, observou-se que 6 meses após a aplicação do calcário dolomítico em superfície (0,0; 2,0; 4,9 e 7,8 Mg ha⁻¹), as modificações no pH do solo e no alumínio trocável ficaram restritas à camada de 0,0-0,05 m, enquanto que após 18 e 30 meses, os efeitos foram observados até 0,1 m de profundidade. O pesquisador notou, ainda, que

o efeito da correção da acidez até 0,1 m foi proporcional à dose aplicada na superfície do solo.

Áreas com altas doses de calcário, extrapolando muito à recomendada, apresentam problemas de disponibilidade de micronutrientes catiônicos para as plantas (LOPES, 1998), sobretudo de manganês e zinco. Ademais, há relações da acidez do solo com a incidência de nematoides, as quais podem serem agravadas ou minimizadas com a calagem. Resultados de pesquisa têm indicado que a intensidade dos sintomas de *P. brachyurus* em soja é maior em áreas ácidas, com menores teores de cálcio e magnésio e altas concentrações de alumínio tóxico. Na região Médio Norte do estado de Mato Grosso, Franchini et al. (2014) concluíram que o aumento do pH, dos teores de cálcio e magnésio, e da saturação por bases, em solo de textura média, diminuiu em até quatro vezes as populações de *P. brachyurus*. Entretanto, existem dúvidas a respeito da calagem na redução das populações deste nematoide em solos argilosos, com maior poder tampão e capacidade de troca de cátions.

2.3 Bioindicadores de qualidade do solo

Os bioindicadores são indicadores relacionados ao funcionamento da maquinaria biológica do solo e fazem parte das métricas para avaliações de saúde do solo e da sustentabilidade dos agroecossistemas. Um bom indicador de saúde do solo deve: i) refletir algum aspecto do funcionamento do ecossistema; ii) mostrar resposta precisa e rápida a qualquer perturbação; iii) possuir distribuição universal, mas com especificidades regionais; e iv) ter um método de determinação (HOLLOWAY & STORK, 1991). Por atenderem estes critérios, no todo ou em partes, as avaliações do carbono da biomassa microbiana e das atividades enzimáticas, têm sido objeto de inúmeros estudos científicos e se destacam nas pesquisas para avaliar a saúde dos solos (MENDES et al., 2019).

A biomassa microbiana do solo, como o próprio nome diz, avalia a massa dos microrganismos no solo e é expressa como mg de C, N e/ou P nos microrganismos por kg de solo. A biomassa é a parte viva e mais ativa da matéria orgânica do solo sendo constituída, principalmente, por fungos, bactérias e actinobactérias. Apesar da sua importância em relação ao teor total de carbono orgânico no solo, o tamanho dos componentes vivos da matéria orgânica do solo é relativamente pequeno, variando de 1 a 5% do carbono orgânico no solo (SMITH & PAUL, 1990).

As reações bioquímicas que ocorrem no solo são catalisadas por enzimas, que são proteínas com alto poder de ativação específica (TABATABAI, 1994). As enzimas intracelulares catalisam as reações metabólicas que ocorrem nos seres vivos, enquanto que as enzimas extracelulares atuam em várias reações hidrolíticas e oxidativas que resultam na decomposição de resíduos orgânicos, ciclagem de nutrientes e formação da matéria orgânica e da estrutura do solo. A maior parte das enzimas do solo são de origem microbiana (MENDES et al., 2019).

Ao longo de 20 anos, o grupo de pesquisa em microbiologia do solo da Embrapa selecionou as enzimas arilsulfatase e β-glicosidase, como sendo os bioindicadores com alta sensibilidade para detectar alterações no solo em função do sistema de manejo (MENDES et al., 2018). Para auxiliar na interpretação individual destes bioindicadores, o grupo de pesquisa desenvolveu estratégia de interpretação baseada na produtividade de grãos de soja e de milho e na matéria orgânica do solo (LOPES et al., 2013). Atualmente, foram desenvolvidas três tabelas de interpretação (LOPES et al., 2018; MENDES et al., 2018), sendo duas destas específicas para uso quando as amostras de solo são coletadas no período chuvoso (uma para cultivos anuais sob sistema plantio direto e outra para solos sob preparo convencional).

O advento das primeiras tabelas de interpretação para os bioindicadores e a possibilidade de ter aspectos relacionados ao funcionamento biológico do solo nas análises comerciais de rotina, representa um desafio para o setor rural, pois exigirá muitas vezes, reavaliação das práticas de manejo adotadas na propriedade. Ao mesmo tempo, a bioanálise do solo poderá ser a aliada que estava faltando para reforçar a importância da adoção de sistemas melhoradores da qualidade de solo. Ao fornecer informações que normalmente passam desapercebidas nas análises químicas do solo, a bioanálise do solo antecipa fenômenos que podem impactar significativamente o desempenho econômico das lavouras (MENDES et al., 2019).

A bioanálise do solo pode ser comparada a um exame de sangue, onde através de determinações de parâmetros químicos e enzimáticos, pode-se avaliar como está o estado de saúde do paciente. Desta forma, a bioanálise serve para alertar sobre a necessidade de toda uma mudança de postura com relação ao manejo do solo. A adoção de sistemas de manejo e práticas agrícolas como o sistema plantio direto, rotação de culturas, uso de culturas de cobertura, integração lavoura-pecuária e integração lavoura-pecuária-floresta são caminhos naturais para a obtenção de solos saudáveis, ou seja, biologicamente ativos e produtivos. A expectativa é de que um

bom conjunto de bioindicadores auxiliará, bastante, no processo de mudança de postura (MENDES et al., 2019).

2.4 Nematoides nos sistemas de produção

No mundo é abordado a existência de cerca de 100 espécies de nematoides de 50 gêneros distintos que conseguem infestar a cultura da soja (BRIDA et al., 2016; BELLÉ et al., 2017). No Brasil há cinco espécies consideradas mais importantes para a soja: nematoide das lesões radiculares (*Pratylenchus brachyurus*), nematoides das galhas (*Meloidogyne javanica* e *M. incognita*), nematoide reniforme (*Rotylenchulus reniformis*) e nematoide de cisto (*Heterodera glycines*) (MEYER et al., 2017). No estado de Mato Grosso, a ordem decrescente de ocorrência destas espécies na soja é a seguinte: *P. brachyurus* > *H. glycines* > *M. javanica* > *M. incognita* > *R. reniformis* (SILVA et al., 2019). O reconhecimento das espécies de nematoides se faz através de observações visuais do sistema radicular a campo e mediante análises laboratoriais.

Tem-se verificado que o sistema de produção e o manejo da calagem superficial tem ação direta na dinâmica populacional dos nematoides. Segundo Freire et al. (2017), no sistema plantio direto, a sucessão, a rotação e as culturas de cobertura podem ser utilizadas de forma eficaz na redução do nível populacional dos nematoides no solo. Contudo, é importante que o produtor esteja ciente que estas táticas de manejo não devem ser utilizadas de forma isolada. Ademais, a inclusão de culturas não hospedeiras não vai ocasionar eliminação dos nematoides, mas sim, a redução populacional no solo.

Segundo Ferraz & Brown (2016), *P. brachyurus* está amplamente disseminado no Brasil, pois hospeda-se em diversas culturas. Conforme Silva et al. (2019), este nematoide também parasita o milho e algodão, culturas normalmente inseridas nos sistemas de produção após a colheita da soja em região de Cerrado. *P. brachyurus* é considerado um endoparasita migrador, que destrói as células das raízes das plantas durante sua penetração e movimentação (GOULART, 2008), preferencialmente nas secundárias, conhecidas como radicelas, provocando escurecimento quando em altas populações. Os sintomas são visualizados em reboleiras, onde a planta irá apresentar menor porte e susceptibilidade ao estresse hídrico, podendo apresentar queda das estruturas reprodutivas (LOPES et al., 2017) e presença de plantas amarelecidas.

P. brachyurus é um nematoide de difícil manejo, uma vez que parasita uma ampla gama de plantas e não estão disponíveis cultivares de soja, milho e algodão com resistência a este nematoide. O manejo mais efetivo é a sucessão ou a rotação com culturas como a Crotalaria spectabilis, C. ochroleuca, C. breviflora e Stylosanthes capitata e S. macrocephala. Resultados de pesquisas demonstraram que estas culturas são resistentes ao P. brachyurus (SILVA et al., 2019).

O milheto (*Pennisetum glaucum* L.) é má hospedeiro de *P. brachyurus*, ou seja, abriga e alimenta os nematoides em suas raízes, propiciando sua reprodução, porém, em níveis baixos (INOMOTO & ASMUS, 2009). O milheto, cv. ADR 300, é um dos mais resistentes ao *P. brachyurus*. Portanto, o seu uso na sucessão de cultivo com soja, a densidade populacional de *P. brachyurus* será menor do que nas sucessões soja-milho (SILVA et al., 2019). Com relação às braquiárias, a mais utilizada na sucessão de culturas tem sido a *Urochloa ruziziensis*. Esta espécie não reproduz *M. javanica*, *M. incognita*, *H. glycines* e *R. reniformis*. Porém, aumenta a população de *P. brachyurus*. No entanto, em áreas de textura arenosa e infestadas por *P. brachyurus*, os efeitos da *U. ruziziensis* sobre a soja subsequente têm sido benéficos, mostrandose em alguns casos, melhores que os proporcionados pelo milheto, provavelmente devido a fitomassa aportada para a cultura subsequente (SILVA et al., 2019).

No sistema plantio direto, as espécies de nematoides das galhas mais importantes, são *M. javanica* e *M. incognita*, sendo que a espécie *M. javanica* é a mais recorrente nas áreas cultivadas com soja (INOMOTO, 2008), embora outras espécies desse gênero tenham sido descritas parasitando a cultura. Não há diferenças entre os sintomas causados por *M. incognita* e *M. javanica*. É comum o aparecimento de plantas subdesenvolvidas com internódios curtos e vagens sem grãos em reboleiras definidas e de pequena extensão. Porém, se não forem adotadas medidas de manejo, reboleiras aumentam substancialmente. as com presença plantas subdesenvolvidas, folhas de coloração verde-claro e raízes extremamente deformadas pelas galhas. Ambas as espécies são bastante agressivas à cultura da soja, sendo relatadas perdas de mais de 55% da produtividade de grãos em área altamente infestada por *M. incognita* (SILVA et al., 2019).

Em áreas infestadas, a sucessão de soja-algodão ou de soja-milho pode acarretar aumento populacional de *M. incognita* no solo uma vez que o algodão é suscetível ao nematoide e os híbridos de milho não têm apresentado resistência a esta espécie (SILVA et al., 2017). Entretanto, o cultivo de *U. brizantha*, *U. decumbens*,

Panicum maximum, C. spectabilis, C. breviflora e mucuna preta é recomendado em áreas infestadas com nematoides das galhas (DIAS-ARIEIRA et al., 2003), uma vez que essas espécies não permitem aumento da população destes nematoides no solo.

Assim como para os demais nematoides, a rotação de culturas também deve ser priorizada no manejo dos nematoides das galhas. Nesse caso, as crotalárias novamente ganham destaque pela quantidade de resultados positivos no manejo de *M. incognita* e *M. javanica*, especialmente *C. spectabilis*. Algumas cultivares de feijão guandu anão (cv. IAPAR 43) e aveias são resistentes aos nematoides das galhas. As aveias têm sido alternativas viáveis em regiões onde é possível seu cultivo, uma vez que são cultivadas como cultura anual e geram renda ao produtor, não competindo com culturas mais atrativas economicamente, como a soja, já que são cultivadas no inverno (MACHADO et al., 2015).

O nematoide *R. reniformis* vem sendo caracterizado como grande problema para a cultura do algodão, mas nos últimos anos esse nematoide tem se tornando um crescente problema para o cultivo da soja (LEANDRO & ASMUS, 2012a). Em Mato Grosso, a distribuição de *R. reniformis* tem se mostrado importante nas regiões produtoras de soja em sucessão com algodão, contribuindo para sua reprodução e sobrevivência. Ademais, os danos atribuídos às culturas são favorecidos pela escassez de informações e técnicas de manejo, contribuindo assim, na reprodução e perpetuação da espécie (SILVA et al., 2019).

Em contraste com *Meloidogyne* spp., *R. reniformis* não causa sintomas visíveis nas raízes das plantas, além de que, o seu limiar de dano populacional é maior do que o estabelecido para o nematoide das galhas. Os solos argilosos e com boa fertilidade podem propiciar ausência de sintomas aparentes no sistema radicular, contribuindo para que a presença do nematoide reniforme seja menosprezada na lavoura. Frequentemente, *R. reniformis* é encontrado em maiores profundidades no solo. Há alguns casos em que mais de 50% da população ocorre abaixo de 0,3 m de profundidade (SILVA et al., 2019).

As plantas infectadas por *R. reniformis* são tipicamente subdesenvolvidas e menores que as plantas normais. A clorose foliar não é comum, mas outros sintomas são semelhantes aos causados por deficiência nutricional ou compactação do solo. Por outro lado, na maioria dos casos, as áreas infectadas são maiores que as observadas para outros nematoides. Em cultivares suscetíveis ou onde os níveis populacionais são altos, podem ocorrer sintomas de clorose ou necrose entre as

nervuras. Após lavagem das raízes em água corrente, estas mantêm aparência suja, devido às partículas de argila que aderem aos ovos do nematoide (SILVA et al., 2019).

H. glycines, conhecido como nematoide de cisto, está entre um dos maiores causadores de danos na cultura da soja em determinadas regiões brasileiras, tendo maior ocorrência nas que praticam o monocultivo (OLIVEIRA et al., 2016). Este nematoide apresenta difícil controle devido a sua capacidade de desenvolver, após a morte da fêmea, uma estrutura de resistência chamada cisto, que condiciona inúmeros ovos (GODOY et al., 2014), que podem permanecer durante anos no solo enquanto não encontra a condição ideal para o desenvolvimento. Ao encontrar a condição ideal, ocorre a eclosão e assim os juvenis saem em busca de plantas para realizar a infestação nas raízes, completando o seu ciclo em torno de quatro semanas (GODOY et al., 2014; MITCHUM, 2016).

Ao penetrar no sistema radicular, acontece uma obstrução na disponibilidade de água e nutrientes, e consequentemente, as plantas começam a apresentar altura e tamanho de vagens menores, amarelecimento e raízes danificadas acompanhadas da presença das fêmeas. Os sintomas ocorrem em reboleiras, resultando em queda significativa na produtividade de grãos, que estão diretamente ligados com os ataques causados nas raízes (CAIXETA et al., 2016). Em áreas onde a população de *H. glycines* é alta, pode ocorrer a morte prematura de plantas. Nas raízes, é possível observar pequenas fêmeas de *H. glycines* de coloração branca, tendendo ao amarelo ao completar o ciclo. A fêmea cheia de ovos morre, transformando-se em cisto. Em seguida, o cisto se desprende do sistema radicular, permanecendo no solo até encontrar uma nova planta hospedeira (SILVA et al., 2019).

Dentre as formas de disseminação, destaca-se a realizada através do tráfego de veículos e equipamentos agrícolas, que uma vez percorrido em uma área infestada, carrega com si os cistos por onde for, por isso é de extrema importância à realização da limpeza após a utilização (HENNING et al., 2014).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Caracterização da área experimental e dados climáticos

O experimento foi instalado na safra 2008/2009 na área experimental da Fundação de Apoio à Pesquisa Agropecuária de Mato Grosso (Fundação MT), localizada em Itiquira – MT, situada a 17º 09' 33" S e 54º 45' 11" W, com altitude de 490 m. O relevo é caracterizado como moderadamente plano. O solo predominante da área, conforme o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2018), é classificado como Latossolo Vermelho distrófico e de textura argilosa, o qual foi originalmente ocupado por vegetação de Cerrado. Antes da instalação do experimento foram realizadas amostragens do solo nas camadas de 0,0-0,1 m e 0,1-0,2 m para análise, cujas características químicas e físicas constam na Tabela 1.

Tabela 1. Características químicas e físicas do solo (Latossolo Vermelho distrófico) nas camadas de 0,0-0,1 m e de 0,1-0,2 m, para caracterização geral da área antes da instalação do experimento. Itiquira – MT, Brasil (safra 2008/2009).

Prof.	рН	Ca ²⁺	Mg ²⁺	ΑΙ ³⁺	Н	СТС	Р	K ⁺	V	m
(m)	CaCl ₂		cmol _c dm ⁻³				mg dm ⁻³			%
0,0-0,1	5,2	3,4	1,2	0,0	4,7	9,6	22	90	51	0,4
0,1-0,2	5,0	3,1	1,0	0,03	5,0	9,2	16	43	45	1,1
Prof.	В	Cu ²⁺	Fe ^{2.}	† Mn	2+	Zn²+	MOS	Argila	Areia	Silte
(m)	mg dm ⁻³ g dm ⁻³ g dm ⁻³									
0,0-0,1	0,33	2,3	108,	2 22,	9	7,4	42,4	567	46	387
0,1-0,2	-	-	-	_		-	39,7	612	30	358

Métodos analíticos: pH em CaCl₂ (solução de CaCl₂ 0,01 mol L⁻¹); Ca²⁺, Mg²⁺ e Al³⁺ (cloreto de potássio 1 mol L⁻¹); H (acetato de cálcio a pH 7,0); P, K⁺, Cu²⁺, Fe²⁺, Mn²⁺ e Zn²⁺ (Mehlich-1); MOS (oxidação com dicromato de potássio e determinação colorimétrica); B (água quente); Análise textural: pipeta.

A área experimental esteve sob cultivo de culturas anuais, sobretudo de monocultivo de soja, por ao menos 25 anos (safra 1983/1984 a 2007/2008). Previamente a instalação do experimento, no outono de 2008, o solo foi escarificado até a profundidade de 0,3 m e gradeado com grade niveladora à profundidade de 0,05 m com a intenção de proporcionar a homogeneidade do terreno.

O clima predominante da região onde o experimento foi conduzido, conforme classificação de Köppen-Geiger (ALVARES et al., 2013), é do tipo Aw, definido como tropical úmido com estação chuvosa no verão e seca no inverno, com precipitação

pluvial média entre 1.200 e 1.800 mm e temperatura média anual entre 22 e 23 °C. Os valores diários de precipitação pluvial e de temperatura média mínima e máxima do ar, registrados durante a condução do experimento nas safras 2017/2018 e 2018/2019, constam na Figura 1. Os dados foram coletados na estação meteorológica da Fundação MT (marca Davis, modelo Vantage Pro2 300 M-Rad), instalada ao lado do experimento.

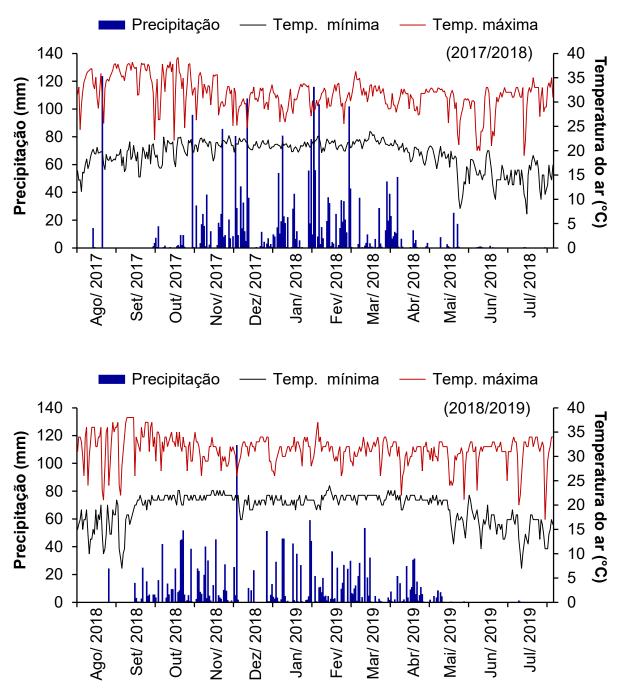


Figura 1. Valores diários de precipitação pluvial e de temperatura média mínima e máxima do ar registrados durante a condução do experimento. Itiquira – MT, Brasil (safras 2017/2018 e 2018/2019).

3.2 Tratamentos e delineamento experimental

Foram estabelecidos 12 tratamentos resultantes da combinação dos fatores sistemas de produção e doses de calcário dolomítico (Tabela 2). O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados com os tratamentos dispostos em parcelas subdivididas, com quatro repetições. As parcelas foram constituídas por três sistemas de produção (monocultivo, sucessão e rotação de culturas na entressafra) e as subparcelas por quatro doses de calcário dolomítico (0,0; 2,0; 4,0 e 8,0 Mg ha⁻¹) aplicadas em superfície, sem incorporação.

Tabela 2. Descrição sucinta dos tratamentos (T) estudados no experimento. Itiquira – MT, Brasil (safras 2016/2017, 2017/2018 e 2018/2019).

Т	Sistemas de produção	Descrição (verão-safrinha) ⁽¹⁾	Doses de calcário ⁽²⁾ (Mg ha ⁻¹)
1	Monocultivo	Soja-pousio	0,0
2	Monocultivo	Soja-pousio	2,0
3	Monocultivo	Soja-pousio	4,0
4	Monocultivo	Soja-pousio	8,0
5	Sucessão de culturas	Soja-milheto	0,0
6	Sucessão de culturas	Soja-milheto	2,0
7	Sucessão de culturas	Soja-milheto	4,0
8	Sucessão de culturas	Soja-milheto	8,0
9	Rotação de culturas	Soja-crotalária / soja- braquiária / soja-milho ⁽³⁾	0,0
10	Rotação de culturas	Soja-crotalária / soja- braquiária / soja-milho ⁽³⁾	2,0
11	Rotação de culturas	Soja-crotalária / soja- braquiária / soja-milho ⁽³⁾	4,0
12	Rotação de culturas	Soja-crotalária / soja- braquiária / soja-milho ⁽³⁾	8,0

⁽¹⁾ Soja (cv. BMX Desafio RR); milho (cv. P3707 VYH); milheto (cv. ADR 300); crotalária (*Crotalaria ochroleuca*); e braquiária (*Urochloa ruziziensis*);

No sistema de produção sob monocultivo optou-se somente pela soja, de forma que entre cada cultivo, houve o manejo químico de plantas daninhas presentes na área com aplicações de herbicidas, sem a implantação de culturas após a colheita da soja, denominado pousio. O sistema de produção sob sucessão de culturas foi constituído pelo cultivo de soja, seguida de milheto safrinha imediatamente após a colheita da soja. E, por fim, a rotação de culturas envolveu, sequencialmente ao longo

⁽²⁾ Calcário dolomítico (CaO: 31,2%; MgO: 21,3%; PN: 104,0; e PRNT: 84,3%) aplicado em superfície, sem incorporação;

⁽³⁾ Safra 2016/2017: soja-crotalária / safra 2017/2018: soja-braquiária / safra 2018/2019: soja-milho.

de três safras, o cultivo de soja-crotalária safrinha (safra 2016/2017), soja-braquiária safrinha (safra 2017/2018) e soja-milho safrinha (safra 2018/2019).

O calcário dolomítico, cuja análise química apresentou 31,2% de CaO, 21,3% de MgO, Poder de Neutralização (PN) de 104,0% e Poder Relativo de Neutralização Total (PRNT) de 84,3%, foi aplicado manualmente sobre a superfície do solo, sem incorporação, procurando-se evitar ao máximo a deriva do insumo. As doses de calcário foram definidas de acordo com Sousa & Lobato (2004). Nas safras 2012/2013 e 2016/2017 o calcário foi reaplicado em suas respectivas doses. As parcelas apresentavam as dimensões de 10 x 20 m e as subparcelas de 5 x 10 m.

3.3 Implantação e condução do experimento

No presente trabalho estarão sendo apresentados e discutidos os procedimentos metodológicos e resultados obtidos durante as safras 2017/2018 e 2018/2019, ou seja, o 10° e 11° ano de condução do experimento, respectivamente.

3.3.1 Safra 2017/2018

A fim de que os resultados tivessem representatividade para as lavouras comerciais, optou-se pela utilização da cultivar de soja BMX Desafio RR. Trata-se de uma cultivar geneticamente modificada, tolerante ao herbicida glifosato. As sementes foram tratadas no dia da semeadura com clorantraniliprole (0,63 g kg⁻¹), fipronil (0,5 g kg⁻¹), piraclostrobina (0,05 g kg⁻¹) e tiofanato metílico (0,45 g kg⁻¹), objetivando evitar o ataque de eventuais insetos-praga e doenças no início do desenvolvimento da cultura. Em seguida, as sementes receberam cobalto (0,03 g kg⁻¹), molibdênio (0,65 g kg⁻¹) e de inoculante MasterFix (2,0 mL kg⁻¹), contendo estirpes de bactérias de *Bradyrhizobium elkanii* (SEMIA 5019) e de *B. japonicum* (SEMIA 5079).

A semeadura da soja foi realizada no dia 31/10/2017, distribuindo-se 24 sementes por metro de sulco, a uma profundidade de 0,04 m, no espaçamento de 0,45 m entre linhas. Utilizou-se semeadora-adubadora específica para o sistema plantio direto, equipada com mecanismo de discos duplos desencontrados e sistema de distribuição de sementes pneumático. A emergência da maioria das plântulas ocorreu cinco dias após a semeadura, estabelecendo-se população coerente com a recomendação proposta pela empresa obtentora da cultivar (BRASMAX, 2017). Em pré-semeadura foram aplicados, manualmente, 90 kg ha-1 de K₂O via cloreto de

potássio, a lanço. No sulco de semeadura foram aplicados 54, 48 e 24 kg ha⁻¹ de P₂O₅, Ca e S-SO₄⁻², respectivamente, via superfosfato simples, com deposição entre 0,08 e 0,1 m de profundidade. A adubação foi definida conforme as características químicas do solo e as recomendações propostas por Zancanaro et al. (2017).

No manejo de plantas daninhas, aplicou-se em pré-emergência, o herbicida s-metolaclor na dose de 1.440 g ha-1. Quando a cultura se encontrava no estádio de desenvolvimento V4 (quarto trifólio expandido), houve aplicação do herbicida glifosato na dose de 960 g ha-1 (i.a.). O manejo de insetos-praga e de doenças foi realizado mediante monitoramento frequente e recomendações propostas por Degrande & Vivan et al. (2017) e Yorinori et al. (2017), respectivamente. Quando necessário, efetuou-se o controle com produtos específicos para cada caso, visando manter a cultura em condições adequadas de sanidade.

O início do florescimento da cultura da soja ocorreu no dia 19/12/2017 (44 dias após emergência – DAE). A colheita foi realizada no dia 06/03/2018, correspondendo aos 121 DAE, momento no qual os grãos apresentavam-se, em média, com 12% de umidade (base úmida – b.u.). Após a colheita da soja e antes da semeadura das culturas de cobertura na safrinha, as plantas daninhas foram dessecadas com paraquat (200 g ha-1). Em seguida, houve a instalação da braquiária (*U. ruziziensis*) e do milheto, cultivar ADR 300, de ciclo precoce e adaptado para produção de grãos em sistema plantio direto (RODRIGUES & PEREIRA FILHO, 2010).

O milheto e a braquiária foram semeados no dia 16/03/2018, a uma profundidade de 0,03 m no espaçamento de 0,17 m entre linhas. Utilizou-se sementes certificadas, as quais não receberam tratamentos químicos. A taxa de semeadura do milheto foi de 20 kg ha-1 e a da braquiária foi de 11 kg ha-1, equivalendo a 400 pontos de valor cultural por hectare. A emergência da maioria das plântulas ocorreu no quarto dia após a semeadura, estabelecendo-se população inicial adequada para ambas as culturas. A semeadura foi realizada com semeadora específica para o sistema plantio direto e mecanismo de distribuição de sementes com fluxo contínuo. As culturas de cobertura não receberam quaisquer tipos de adubação mineral. No manejo de plantas daninhas, aplicou-se o herbicida atrazina na dose de 1.750 g ha-1 aos 27 DAE. Não justificou-se o uso de fungicidas para o manejo de doenças foliares. Contudo, foi preciso realizar duas aplicações de inseticidas para o manejo de lagartas do gênero *Spodoptera*, em ambas as culturas. Tais aplicações foram realizadas com produtos específicos e recomendados por Degrande & Vivan et al. (2017).

O florescimento do milheto foi registrado no dia 02/05/2018, correspondendo aos 43 DAE, ao passo que a braquiária não floresceu. O milheto não foi dessecado com herbicidas, optando-se por deixá-lo concluir seu ciclo biológico normalmente, o que é considerado um manejo usual entre os produtores da região em que o estudo foi conduzido. Todavia, a braquiária foi dessecada no dia 02/06/2018 (74 DAE), quando se definiu, visualmente, que a quantidade aportada de fitomassa seca da parte aérea era considerada adequada ao ponto de propiciar benefícios ao sistema de produção. Para tal, utilizou-se o herbicida glifosato na dose de 1.080 g ha-1 (i.a.).

Todas as aplicações de produtos fitossanitários (herbicidas, inseticidas e fungicidas na soja; herbicidas e inseticidas nas culturas de cobertura) foram realizadas com pulverizador de barras tratorizado calibrado para aplicar 150 L ha⁻¹ de calda.

3.3.2 Safra 2018/2019

Na safra 2018/2019 as sementes de soja (cultivar BMX Desafio RR) foram tratadas no dia da semeadura com fipronil (0,5 g kg⁻¹), fludioxonil (0,03 g kg⁻¹) e metalaxil-m (0,04 g kg⁻¹). Após o tratamento químico, as sementes receberam cobalto (0,03 g kg⁻¹), molibdênio (0,3 g kg⁻¹) e de inoculante MasterFix (2,0 mL kg⁻¹), contendo estirpes de bactérias de *B. elkanii* (SEMIA 5019) e de *B. japonicum* (SEMIA 5079).

A semeadura da soja foi realizada no dia 13/10/2018, distribuindo-se 24 sementes por metro de sulco, a uma profundidade de 0,04 m, no espaçamento de 0,45 m entre linhas. A emergência da maioria das plântulas ocorreu cinco dias após a semeadura, estabelecendo-se população coerente com a recomendação proposta pela empresa obtentora da cultivar (BRASMAX, 2017). Em pré-semeadura foram aplicados 90 kg ha⁻¹ de K₂O via cloreto de potássio, a lanço. No sulco de semeadura foram aplicados 54, 48 e 24 kg ha⁻¹ de P₂O₅, Ca e S-SO₄⁻², respectivamente, via superfosfato simples, com deposição entre 0,08 e 0,1 m de profundidade. De novo, a adubação foi definida conforme as características químicas do solo e as recomendações propostas por Zancanaro et al. (2017).

No manejo de plantas daninhas foram necessárias duas intervenções. A primeira foi realizada no dia seguinte à semeadura, aplicando-se os herbicidas glifosato, clorimuron-etílico e haloxifope nas doses de 745, 15 e 48 g ha⁻¹, respectivamente. A segunda intervenção ocorreu quando a cultura se encontrava no estádio de desenvolvimento V4, aplicando-se o herbicida haloxifope na dose de 48 g ha⁻¹. Assim como adotado na safra anterior, o manejo de insetos-praga e de doenças

foi realizado mediante monitoramento frequente e recomendações propostas, respectivamente, por Degrande & Vivan et al. (2017) e Yorinori et al. (2017).

O início do florescimento da cultura da soja ocorreu no dia 29/11/2018 (42 DAE). A colheita foi realizada no dia 13 de fevereiro de 2019, correspondendo aos 118 DAE, momento no qual os grãos apresentavam-se, em média, com 11,8% de umidade (b.u.). Após a colheita da soja e antes da semeadura do milho e do milheto na safrinha, as plantas daninhas presentes na área foram dessecadas com os herbicidas paraquat (240 g ha⁻¹), diurom (120 g ha⁻¹) e glifosato (930 g ha⁻¹ i.a.), objetivando propiciar o adequado estabelecimento e desenvolvimento inicial das culturas.

O híbrido de milho utilizado foi o P3707 VYH (tipo simples e de ciclo precoce). As sementes foram tratadas com imidacloprido e tiodicarbe, nas doses de 2,25 e 6,75 g kg⁻¹, respectivamente, objetivando evitar o ataque inicial de eventuais insetos-praga. A semeadura foi realizada no dia 21/02/2019, distribuindo-se 3,0 sementes por metro de sulco, a uma profundidade de 0,04 cm, no espaçamento de 0,45 m entre linhas. A emergência da maioria das plântulas ocorreu cinco dias após a semeadura. Em présemeadura foram aplicados 60 kg ha⁻¹ de K₂O via cloreto de potássio, a lanço. No sulco foram aplicados 11 e 52 kg ha⁻¹ de N e P₂O₅, respectivamente, via fosfato monoamônico, com deposição entre 0,08 e 0,1 m de profundidade. Quando as plantas se apresentavam no estádio V4 (quatro folhas expandidas), foram aplicados 100 kg ha⁻¹ de N via ureia a lanço (sem incorporação). A definição da adubação do milho foi conforme as características químicas do solo e as recomendações de Sousa & Lobato (2004), para uma produtividade de grãos esperada de 10,0 Mg ha⁻¹.

No manejo de plantas daninhas, aplicou-se em pré-emergência, o herbicida s-metolaclor na dose de 1.150 g ha-1. Quando a cultura se encontrava no estádio de desenvolvimento V2 (duas folhas expandidas), houve aplicação do herbicida atrazina na dose de 2.250 g ha-1. O manejo de insetos-praga e de doenças foi realizado mediante monitoramento frequente e recomendações propostas por Degrande & Vivan et al. (2017) e Costa et al. (2017), respectivamente. Quando necessário, efetuou-se o controle com produtos específicos para cada caso (apesar de ser um híbrido resistente a insetos-praga da ordem lepidóptera).

O florescimento do milho ocorreu no dia 23/04/2019 (57 DAE). A colheita foi realizada no dia 15/07/2019, correspondendo aos 140 DAE, ocasião em que os grãos se apresentavam, em média, com 10,5% de umidade (b.u.). Em seguida, as espigas foram submetidas à trilha mecânica para obtenção da produtividade de grãos.

O milheto (cultivar ADR 300) foi semeado no dia 06/03/2019, a uma profundidade de 0,03 m no espaçamento de 0,17 m entre linhas. Utilizou-se sementes certificadas, as quais não receberam tratamentos químicos e a taxa de semeadura foi de 20 kg ha⁻¹. A emergência da maioria das plântulas ocorreu no quarto dia após a semeadura, estabelecendo-se população inicial adequada para a cultura. Assim como na safra anterior, não houve aplicação de adubo mineral no milheto.

O manejo fitossanitário foi realizado de acordo com a necessidade da cultura. Novamente, não se justificou o uso de fungicidas para o manejo de doenças foliares no milheto. Logo, fizeram-se necessárias duas aplicações de inseticidas para o manejo de lagartas do gênero *Spodoptera*. Tais aplicações foram realizadas com produtos específicos e recomendados por Degrande & Vivan et al. (2017). O florescimento do milheto ocorreu no dia 23/04/2019, correspondendo aos 44 DAE. O milheto não foi dessecado com herbicidas, optando-se por deixá-lo concluir o ciclo normalmente.

Na semeadura da soja, do milho safrinha e das culturas de cobertura utilizouse as mesmas semeadoras e mecanismos de abertura de sulco e distribuição de sementes descritas para a safra 2017/2018. As aplicações dos produtos fitossanitários (herbicidas, inseticidas e fungicidas na soja e no milho safrinha; herbicidas e inseticidas no milheto) foram realizadas com pulverizador de barras tratorizado regulado para aplicar 150 L ha-1 de calda.

3.4 Variáveis agronômicas mensuradas

3.4.1 Atributos químicos do solo

Após a colheita da soja e antes da semeadura das culturas de cobertura (milheto e braquiária) na safra 2017/2018 foram realizadas amostragens de solo nas camadas de 0,0-0,1 m e de 0,1-0,2 m, coletando-se 12 amostras simples por subparcela, somente nas entre linhas, para obter as amostras compostas em suas respectivas camadas e tratamentos.

As amostras de solo foram acondicionadas em sacos apropriados e enviadas ao laboratório, onde foram determinados os teores de fósforo, potássio, cálcio, magnésio, pH em CaCl₂, hidrogênio + alumínio (acidez potencial), saturação por bases e saturação por alumínio.

3.4.2 Bioindicadores de qualidade do solo

Exclusivamente na safra 2018/2019, avaliou-se bioindicadores de qualidade do solo, mediante determinações de enzimas e do teor de matéria orgânica do solo. As amostragens de solo foram realizadas na camada de 0,0-0,1 m, quando a cultura da soja se apresentava no florescimento pleno, estádio de desenvolvimento R2, caracterizado com a maioria dos racemos com flores abertas. Uma amostra composta foi formada por meio de três pontos de amostragens em cada subparcela. Em cada ponto de amostragem foram retiradas cinco amostras simples, sendo uma amostra coletada na linha de semeadura, duas amostras nas entre linhas e duas entre as entre linhas e a linha de semeadura, conforme pode ser observado na Figura 2. Por ser considerado um experimento de longa duração e com o intuito de não ser invasivo, o que poderia trazer danos irreversíveis, as amostragens foram concentradas na terceira linha de cada subparcela.

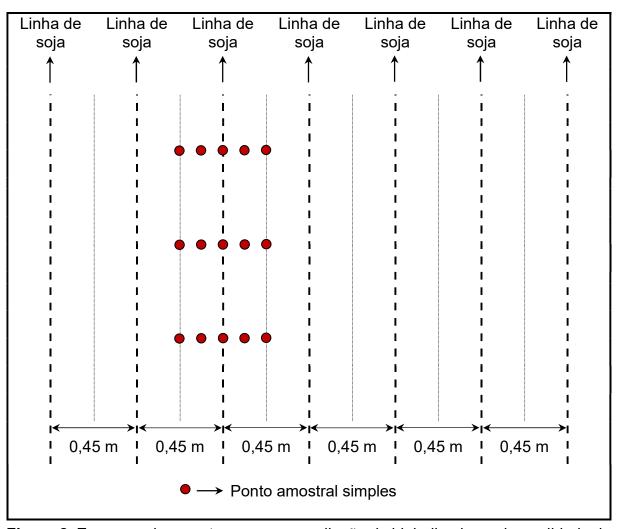


Figura 2. Esquema da amostragem para avaliação de bioindicadores de qualidade de solo. Itiquira – MT, Brasil (safra 2018/2019).

As amostras foram acondicionadas em caixa de isopor e mantidas em ambiente climatizado (15° C). Posteriormente, as amostras foram enviadas para a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) em Planaltina – DF, onde foram submetidas às análises. Foram determinadas as atividades das enzimas β-glicosidase e arilsulfatase de acordo com Tabatabai (1994), baseando-se na determinação colorimétrica do p-nitrofenol liberado por essas enzimas, quando o solo é incubado com uma solução tamponada de substratos específicos para cada uma. Para cada amostra utilizou-se duas repetições analíticas mais um controle. Utilizou-se curva padrão preparada com as concentrações conhecidas (0, 10, 20, 30, 40 e 50 μg de p-nitrofenol mL-1) para determinação da quantidade de p-nitrofenol liberada das amostras. Os valores foram expressos em μg de p-nitrofenol g-1 de solo h-1.

O teor de matéria orgânica do solo foi determinado pela oxidação por via úmida com dicromato de potássio em meio sulfúrico, seguido da titulação com sulfato ferroso amoniacal (WALKLEY & BLACK, 1934). Utilizou-se 0,5 g das amostras de solo, as quais foram distribuídas em erlenmeyers, onde adicionou-se 10,0 mL de uma solução de dicromato de potássio (0,5 mol L-1) e em seguida 20,0 mL de ácido sulfúrico concentrado. Após 30 minutos adicionou-se 200 mL de água destilada para aumentar a alíquota e facilitar o processo de titulação. Depois de 30 minutos cada amostra foi titulada com sulfato ferroso amoniacal (1 mol L-1), e a matéria orgânica facilmente oxidável foi calculada segundo Jackson (1970). Não foi utilizado o fator de correção para carbono total, conforme proposto por Walkley (1947) por isso essa determinação foi denominada matéria orgânica facilmente oxidável (JACKSON, 1970).

3.4.3 Dinâmica populacional de nematoides

As populações de nematoides foram mensuradas nas safras 2017/2018 e 2018/2019, mediante determinações de juvenis e adultos de *M. javanica* e *M. incognita*, *P. brachyurus*, *R. reniformis*, *Helicotylenchus* spp. (nematoides espiralados) e *H. glycines* no solo e nas raízes e de número de cistos de *H. glycines* no solo.

As amostragens de solo e de raízes foram realizadas na camada de 0,0-0,1 m com enxadão e pá de corte, quando a cultura da soja se apresentava no florescimento pleno (estádio R2). Foram coletadas cinco amostras simples por subparcela, as quais foram homogeneizadas para obter a amostra composta contendo solo e uma quantidade mínima de 5,0 g de raízes. Mais uma vez, com a intenção de não ser invasivo, as amostragens foram concentradas na terceira linha de cada subparcela.

As amostras de solo e de raízes foram acondicionadas em caixas de isopor e enviadas para o laboratório de nematologia da Associação dos Produtores de Sementes de Mato Grosso (APROSMAT) em Rondonópolis – MT. Para as determinações de *P. brachyurus*, *R. reniformis*, *Helicotylenchus* spp. e *H. glycines* presentes no solo foram consideradas amostras de 200 cm³ de solo por subparcela, as quais foram processadas de acordo com a metodologia de flutuação, peneiramento e centrifugação descrita por Jenkins (1964). Na mensuração de cistos viáveis e inviáveis de *H. glycines* no solo considerou-se uma amostra de 100 cm³ de solo por subparcela, conforme metodologia proposta por Abrantes et al. (1976).

As raízes foram lavadas, pesadas em balança de precisão (0,01 g), padronizando 5,0 g de raízes por subparcela, e trituradas em liquidificador por 1 minuto com solução de hipoclorito. Em seguida, estas foram submetidas à extração de nematoides a partir do método de processamento, peneiramento e flutuação em centrifugação com caulim e sacarose (COOLEN & D'HERDE, 1972). A contagem de nematoides (juvenis e adultos) foi realizada com auxílio de câmara de Peters em microscópio óptico. A partir da densidade obtida em 5,0 g de raízes, estimou-se a população final de nematoides nas raízes presentes em cada amostra.

3.4.4 População de plantas, produtividade de grãos e massa de mil grãos de soja e milho safrinha

No momento da colheita da soja e do milho safrinha foram delimitados dois pontos amostrais em cada subparcela, sendo cada constituído por quatro linhas adjacentes com 2,0 m de comprimento. Posteriormente, efetuou-se a contagem das plantas, obtendo-se a população final, com os valores extrapolados em plantas ha-1. Na safra 2018/2019 não mensurou-se a população final de plantas na soja.

A colheita foi realizada mediante a coleta manual de todas as plantas (soja) e espigas (milho) presentes em ambos os pontos amostrais e processamento mecânico em trilhadeira estacionária. Em seguida, a produtividade de grãos das culturas foi obtida a partir das pesagens dos grãos de cada subparcela, a qual foi convertida para Mg ha⁻¹ e corrigida para 13% de umidade (b.u.).

A massa de mil grãos de soja e milho safrinha foi determinada pela pesagem de uma amostra de 500 grãos por subparcela, a qual foi submetida à pesagem em balança de precisão (0,01 g). Os resultados foram extrapolados para mil grãos e a massa corrigida para 13% de umidade (b.u.).

3.4.5 Fitomassa seca de parte aérea das culturas de cobertura

A fitomassa seca de parte aérea do milheto foi mensurada quando a cultura se encontrava no florescimento. A braquiária, por não ter apresentado florescimento, teve sua fitomassa seca de parte aérea determinada na ocasião em que ela apresentou, visualmente, quantidade satisfatória ao ponto de propiciar benefícios ao sistema de produção. Para ambas as culturas foram estabelecidos de maneira aleatória dois pontos amostrais por subparcela, sendo cada constituído por 1,0 x 1,0 m. Todas as plantas de milheto e de braquiária presentes nestes pontos foram cortadas rentes à superfície do solo, acondicionadas em sacos de papéis e submetidas à secagem em estufa com renovação e circulação forçada de ar à temperatura de 60±5 °C, até atingir massa constante. Em seguida, as amostras foram pesadas em balança de precisão (0,01 g) e os resultados expressos em Mg ha-1 de fitomassa seca de parte aérea.

3.5 Análise estatística dos resultados

Os dados foram submetidos ao teste de normalidade de Kolmogorov-Smirnov a 5% de probabilidade (p<0,05). Para seguir os pressupostos necessários da análise de variância (Anova), os resultados de população de nematoides (ambas as safras), de atividade das enzimas β -glicosidase e arilsulfatase, de teor de fósforo (0,0-0,1 m e 0,1-0,2 m) e de saturação por alumínio (0,1-0,2 m), por não terem apresentado distribuição considerada normal, foram transformados em arco seno de $\sqrt{x+1}$.

Posteriormente, os resultados foram submetidos à análise de variância univariada pelo teste F. Quando constatado efeito significativo, as médias de sistemas de produção foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade (p<0,05), de acordo com Pimentel Gomes & Garcia (2002). As médias de doses de calcário em superfície foram analisadas por regressão (BANZATTO & KRONKA, 2006), ajustandose modelos de equações lineares e quadráticas significativas pelo teste F (p<0,01 e p<0,05). Quando constatado interação significativa entre os fatores de variação, procedeu-se o desdobramento. O *software* utilizado foi o Sisvar (FERREIRA, 2014), versão 5.6. Os resultados foram submetidos, ainda, à análise multivariada. As variáveis foram processadas no *software* Genes (CRUZ, 2001), permitindo a identificação dos componentes principais e a realização da análise de agrupamento.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Atributos químicos e bioindicadores de qualidade do solo, produtividade de grãos e fitomassa seca de parte aérea das culturas de cobertura

Na Tabela 3 estão inseridos o resumo da análise de variância e os valores médios de teores de cálcio e magnésio trocáveis nas camadas de 0,0-0,1 m e de 0,1-0,2 m do solo na safra 2017/2018 nos três sistemas de produção sob diferentes doses de calcário dolomítico em superfície. O teor de cálcio na camada de 0,0-0,1 m foi modificado, de maneira significativa e isolada, pelos sistemas de produção e pelas doses de calcário. Na camada de 0,1-0,2 m houve efeito isolado apenas das doses de calcário sobre o teor de cálcio. Quanto ao magnésio, detectou-se efeito significativo e isolado dos sistemas de produção e das doses de calcário em ambas as camadas.

Maiores teores de cálcio e magnésio trocáveis foram encontrados na sucessão de soja-milheto safrinha e na rotação de culturas em comparação ao monocultivo de soja (Tabela 3), exceto para o cálcio na camada de 0,1-0,2 m. Os maiores teores de cálcio e magnésio nestes sistemas de produção pode ser devido ao fato de que a adição de resíduos vegetais promove, antes da humificação, a elevação do pH, em razão da complexação de hidrogênio e alumínio com compostos do resíduo vegetal, deixando cálcio e magnésio mais livres em solução, o que pode ocasionar aumento na saturação por esses cátions de reação básica (PAVINATO & ROSOLEM, 2008). Outra hipótese está relacionada com as maiores taxas de ciclagem destes nutrientes na sucessão e rotação, devido a inserção de culturas com sistema radicular abundante (braquiária e milho). Correia et al. (2017) trabalhando no estado de Mato Grosso concluíram que o milheto aumentou significativamente os teores de cálcio na camada de 0,0-0,2 m do solo em comparação à sua ausência. Porém, Fabian (2009) não constatou alterações significativas nos teores de cálcio nas camadas superficiais do solo após o cultivo de culturas de cobertura, entre elas o milheto e a *U. brizantha*, em comparação ao pousio. Mas, tal pesquisador reportou maiores teores de magnésio na camada de 0,0-0,025 m do solo nos tratamentos cultivados com milheto e U. brizantha em relação à ausência de cobertura do solo. Embora, no presente trabalho, menores teores de cálcio e magnésio trocáveis do solo tenham sido evidenciados no monocultivo de soja, estes ainda foram considerados adequados, de acordo com as classes de teores sugeridas por Sousa & Lobato (2004) para solos de Cerrado.

Tabela 3. Resumo da análise de variância e valores médios de teores de cálcio (Ca²⁺) e magnésio (Mg²⁺) trocáveis nas camadas de 0,0-0,1 m e de 0,1-0,2 m do solo em três sistemas de produção sob diferentes doses de calcário dolomítico em superfície. Itiquira – MT, Brasil (safra 2017/2018).

	0,0-0,1 m		0,1-0,	,2 m
Fator de variação	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺
		cmol	: dm ⁻³	
Sistemas de produção (S) ⁽¹⁾				_
Monocultivo	3,85 b	1,91 b	2,41	1,12 b
Sucessão de culturas	4,40 a	2,41 a	3,00	1,55 a
Rotação de culturas	4,39 a	2,35 a	2,72	1,37 a
Doses de calcário (D)				
0,0 Mg ha ⁻¹	3,05	1,23	2,13	0,75
2,0 Mg ha ⁻¹	4,13	2,23	2,35	1,11
4,0 Mg ha ⁻¹	4,68	2,65	2,79	1,55
_ 8,0 Mg ha ⁻¹	5,00	2,78	3,58	1,98
Média geral	4,21	2,22	2,71	1,35
		Valores	de F ⁽²⁾	
S	13,16 **	27,43 **	3,76 ns	17,82 **
D	49,56 **	126,39 **	20,36 **	56,35 **
SxD	0,67 ns	0,98 ns	1,03 ns_	1,59 ns
CV parcela (%)	8,34	9,39	22,72	15,08
CV subparcela (%)	10,01	9,76	18,13	18,26

Médias seguidas por mesma letra nas colunas não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade; ⁽¹⁾ Monocultivo (soja-pousio com aplicação de herbicida no período de entressafra); sucessão (soja-milheto safrinha); rotação (soja-crotalária safrinha / soja-braquiária safrinha / soja-milho safrinha).

⁽²⁾ Teste F: ns – não significativo; ** – significativo a 1% de probabilidade;

CV – coeficiente de variação experimental;

Método: Ca²⁺ e Mg²⁺ (cloreto de potássio – 1 mol L⁻¹).

Tal como esperado, o aumento nas doses de calcário dolomítico em superfície proporcionou incrementos nos teores de cálcio e magnésio trocáveis do solo (Figura 3), devido à própria presença dos elementos no corretivo (31,2% de CaO e 21,3% de MgO). A análise de regressão apontou comportamento quadrático dos teores de cálcio e magnésio na camada de 0,0-0,1 m e linear na camada de 0,1-0,2 m em resposta às doses de calcário. Estes resultados mostraram-se coerentes aos obtidos por Borin et al. (2013) no Cerrado goiano, onde os pesquisadores reportaram incrementos lineares nos teores de cálcio e magnésio no solo, nas camadas de 0,0-0,1 m e de 0,1-0,2 m, em resposta as doses de calcário em superfície (0,0; 1,0; 2,0; 3,0 e 4,0 Mg ha⁻¹). Outros estudos, conduzidos em condições de solo e clima muito semelhantes às do presente trabalho, também apontaram aumentos nos teores de cálcio e magnésio trocáveis no solo após a aplicação superficial de calcário (CAMBRI, 2004; LEAL et al., 2008; SILVA, 2008; LANGE & CHAPLA, 2017).

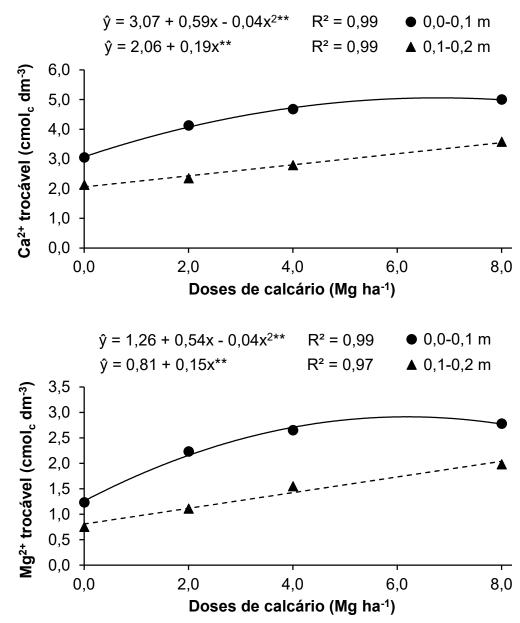


Figura 3. Teores de cálcio (Ca²⁺) e magnésio (Mg²⁺) trocáveis nas camadas de 0,0-0,1 m e de 0,1-0,2 m do solo em resposta às doses de calcário dolomítico em superfície. Itiquira – MT, Brasil (safra 2017/2018). Teste F: ** – significativo a 1% de probabilidade.

Os teores de cálcio e magnésio trocáveis do solo, considerados adequados após 10 anos da instalação do experimento, podem ser explicados pela ciclagem dos nutrientes das camadas mais profundas pelas culturas com sistema radicular abundante (braquiária e milho). No caso do cálcio, soma-se ainda, à aplicação de 48 kg ha-1 de Ca via superfosfato simples sempre que cultivado soja. Este valor é muito próximo à quantidade absorvida pela soja (EMBRAPA, 2013) e compatível com as produtividades de grãos alcançadas neste trabalho, sendo suficiente para atender a demanda da cultura e promover a sua manutenção no solo ao longo do tempo.

O resumo da análise de variância e os valores médios de pH em CaCl₂ e acidez potencial nas camadas de 0,0-0,1 m e de 0,1-0,2 m na safra 2017/2018 nos três sistemas de produção sob diferentes doses de calcário dolomítico em superfície estão na Tabela 4. Em ambas as camadas, verificou-se efeito significativo e isolado somente das doses de calcário sobre tais atributos químicos, o que era esperado devido as características e reações químicas que esse insumo apresenta quando em contato com o solo na presença de umidade, as quais foram reportadas por Sousa & Lobato (2004). A ausência de interação significativa entre os fatores de variação sugere, portanto, que os valores de pH em CaCl₂ e de acidez potencial em ambas as camadas, dependendo das doses de calcário, foram semelhantes nos sistemas de produção.

Tabela 4. Resumo da análise de variância e valores médios de pH em CaCl₂ e acidez potencial (H⁺ + Al³⁺) nas camadas de 0,0-0,1 m e de 0,1-0,2 m do solo em três sistemas de produção sob diferentes doses de calcário dolomítico em superfície. Itiquira – MT. Brasil (safra 2017/2018).

Superficie. Itiquila – I	,			0.0
	0,0-	0,1 m	0,1-0,2 m	
Fator de variação	рН	H ⁺ + Al ³⁺	рН	H+ + Al3+
	CaCl₂	cmol _c dm ⁻³	CaCl₂	cmol _c dm ⁻³
Sistemas de produção (S) ⁽¹⁾				_
Monocultivo	5,94	2,70	5,07	4,88
Sucessão de culturas	5,98	2,59	5,35	4,28
Rotação de culturas	5,89	2,84	5,13	4,88
Doses de calcário (D)				
0,0 Mg ha ⁻¹	4,97	5,15	4,68	6,34
2,0 Mg ha ⁻¹	5,89	2,56	4,92	5,32
4,0 Mg ha ⁻¹	6,35	1,68	5,33	4,05
8,0 Mg ha ⁻¹	6,53	1,44	5,80	3,02
Média geral	5,94	2,71	5,18	4,68
-		Valores d	le F ⁽²⁾	
S	0,59 ns	1,23 ns	4,86 ns	2,56 ns
D	215,96 **	307,94 **	43,65 **	49,15 **
SxD	1,09 ns	1,27 ns	1,66 ns	0,57 ns
CV parcela (%)	3,61	16,70	5,24	18,30
CV subparcela (%)	2,77	12,39	4,96	15,33

Médias seguidas por mesma letra nas colunas não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade; (1) Monocultivo (soja-pousio com aplicação de herbicida no período de entressafra); sucessão (soja-milheto safrinha); rotação (soja-crotalária safrinha / soja-milho safrinha).

Métodos: pH em CaCl₂ (acidez ativa) – CaCl₂ 0,01 mol L⁻¹; H⁺ + Al³⁺ (acidez potencial) – acetato de cálcio 0,5 mol L⁻¹ a pH 7,0.

A ausência de influência dos sistemas de produção sobre o pH em CaCl₂ e a acidez potencial do solo (Tabela 4) diverge de alguns trabalhos disponíveis na

⁽²⁾ Teste F: ns – não significativo; ** – significativo a 1% de probabilidade;

CV – coeficiente de variação experimental.

literatura. Correia et al. (2017) obtiveram aumento de 4,73 para 4,92 no pH em H₂O na camada de 0,0-0,2 m do solo após o cultivo de milheto em comparação à sua ausência. Correia & Durigan (2008) mostraram que espécies como o milheto e a *U. brizantha*, após dois anos sob sistema plantio direto, provocaram aumento de pH na camada de 0,0-0,05 m do solo. Segundo Silveira et al. (2010), a acidificação ou alcalinização do solo depende do balanço entre a mineralização e subsequente nitrificação do nitrogênio orgânico adicionado e sua associação e, particularmente, da oxidação dos ânions orgânicos adicionados. Almeida et al. (2008), após três anos de sistema plantio direto, também não verificaram efeito significativo de culturas de cobertura, entre elas a crotalária e o milheto, sobre o pH em CaCl₂ e a acidez potencial do solo, corroborando desta maneira com as constatações do presente trabalho.

O acréscimo nas doses de calcário dolomítico em superfície proporcionou incrementos quadrático e linear nos valores de pH em CaCl₂ nas camadas de 0,0-0,1 m e de 0,1-0,2 m do solo, respectivamente (Figura 4). Borin et al. (2013) também constataram aumento linear do pH em CaCl₂ na camada de 0,1-0,2 m do solo após o uso de doses crescentes de calcário em superfície. Outros trabalhos também revelaram acréscimos nos valores de pH nas camadas superficiais do solo após a aplicação de calcário em superfície sem incorporação (CAMBRI, 2004; LEAL et al., 2008; ZANDONÁ et al., 2015; MOTA NETO et al., 2017).

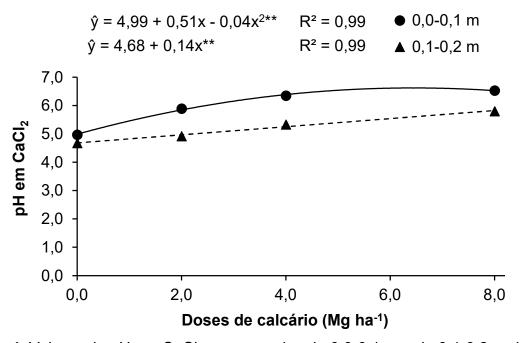


Figura 4. Valores de pH em CaCl₂ nas camadas de 0,0-0,1 m e de 0,1-0,2 m do solo em resposta às doses de calcário dolomítico em superfície. Itiquira – MT, Brasil (safra 2017/2018). Teste F: ** – significativo a 1% de probabilidade.

Tanto na camada de 0,0-0,1 m quanto na de 0,1-0,2 m foi observado redução linear na acidez potencial do solo à medida que se incrementou as doses de calcário dolomítico em superfície (Figura 5), demonstrando o potencial da neutralização da acidez pelas hidroxilas liberadas pelo corretivo. Estes resultados mostraram-se coerentes aos obtidos por Borin et al. (2013) e Mota Neto et al. (2017), os quais reportaram redução na acidez potencial do solo nas camadas de 0,1-0,2 m e de 0,0-0,2 m, respectivamente, após a prática da calagem superficial. Caires et al. (2000) notaram que a aplicação superficial de calcário dolomítico em sistema plantio direto proporcionou redução significativa na acidez potencial até a profundidade de 0,6 m em comparação ao tratamento sem calagem. Em contrapartida, o trabalho de Cambri (2004) em Mato Grosso, 30 meses após a aplicação superficial do calcário dolomítico em sistema plantio direto, mostrou que as reduções da acidez potencial do solo foram observadas até a profundidade de 0,1 m. O pesquisador verificou, ainda, que o efeito da correção da acidez até a referida profundidade ocorreu de forma proporcional à dose aplicada, que variou de 0,0 à 7,8 Mg ha⁻¹.

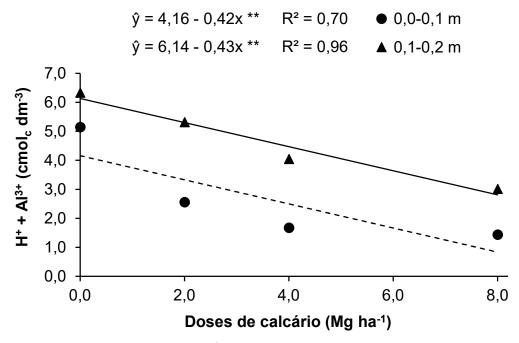


Figura 5. Acidez potencial (H⁺ + Al³⁺) nas camadas de 0,0-0,1 m e de 0,1-0,2 m do solo em resposta às doses de calcário dolomítico em superfície. Itiquira – MT, Brasil (safra 2017/2018). Teste F: ** – significativo a 1% de probabilidade.

Na Tabela 5 estão inseridos o resumo da análise de variância e os valores médios de saturação por bases e saturação por alumínio nas camadas de 0,0-0,1 m e de 0,1-0,2 m do solo na safra 2017/2018 nos três sistemas de produção sob diferentes doses de calcário dolomítico em superfície. Nas duas camadas verificou-se efeito significativo e isolado apenas das doses de calcário sobre tais atributos químicos, o que novamente era esperado devido as características e reações químicas que esse insumo apresenta quando em contato com o solo na presença de umidade (SOUSA & LOBATO, 2004).

Tabela 5. Resumo da análise de variância e valores médios de saturação por bases (V) e saturação por alumínio (m) nas camadas de 0,0-0,1 m e de 0,1-0,2 m do solo em três sistemas de produção sob diferentes doses de calcário dolomítico em superfície. Itiquira – MT, Brasil (safra 2017/2018).

	0,0-0,1 m		0,1-0	,2 m
Fator de variação	V	m	V	m ⁽²⁾
			- %	
Sistemas de produção (S) ⁽¹⁾				_
Monocultivo	69,4	0,0	44,2	2,93
Sucessão de culturas	73,2	0,0	52,7	1,14
Rotação de culturas	71,2	0,0	46,9	2,21
Doses de calcário (D)				
0,0 Mg ha ⁻¹	46,7	0,0	32,7	5,73
2,0 Mg ha ⁻¹	71,9	0,0	40,8	2,64
4,0 Mg ha ⁻¹	81,7	0,0	52,9	0,00
8,0 Mg ha ⁻¹	84,6	0,0	65,3	0,00
Média geral	71,3	0,0	47,9	2,09
	Valores de F ⁽³⁾			
S	2,37 ns	-	4,20 ns	0,80 ns
D	196,00 **	-	44,06 **	9,95 **
SxD	1,12 ns	.	0,83 ns	0,43 ns
CV parcela (%)	6,88	-	17,80	50,95
CV subparcela (%)	5,98	-	15,49	48,85

Médias seguidas por mesma letra nas colunas não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade; (1) Monocultivo (soja-pousio com aplicação de herbicida no período de entressafra); sucessão (soja-milheto safrinha); rotação (soja-crotalária safrinha / soja-braquiária safrinha / soja-milho safrinha).

Método: Al (cloreto de potássio – 1 mol L⁻¹).

A falta de influência dos sistemas de produção sobre a saturação por bases e por alumínio no solo (Tabela 5) corrobora com os resultados obtidos por Veronese et al. (2012) num Latossolo Vermelho-Amarelo, durante duas safras consecutivas. Os pesquisadores concluíram que a introdução de milheto ou de *U. ruziziensis* safrinha

⁽²⁾ A comparação das médias foi realizada por meio da transformação dos resultados em √x+1;

⁽³⁾ Teste F: ns – não significativo; ** – significativo a 1% de probabilidade;

CV – coeficiente de variação experimental.

no sistema de produção não foi significativa para alterar a dinâmica da acidez do solo. Por outro lado, Correia et al. (2017) relataram que o uso do milheto como cultura de cobertura elevou a saturação por bases de 62 para 68% na camada de 0,0-0,2 m de um Latossolo Vermelho-Amarelo. Os pesquisadores associaram essa elevação ao aumento do teor de matéria orgânica do solo.

A análise de regressão revelou que o aumento nas doses de calcário dolomítico em superfície proporcionou incrementos quadrático e linear nos valores de saturação por bases nas camadas de 0,0-0,1 m e de 0,1-0,2 m do solo, respectivamente (Figura 6). Esses incrementos apresentaram o mesmo padrão de resposta que os constatados com os teores de cálcio e magnésio trocáveis (Figura 3), uma vez que estes atributos são altamente correlacionados, tendo em vista que a saturação por bases é a porcentagem de cargas negativas do solo que estão sendo ocupadas por potássio, cálcio e magnésio. Diversos pesquisadores também reportaram aumento da saturação por bases em resposta às aplicações superficiais de calcário no solo (CAMBRI, 2004; LEAL et al., 2008; BORIN et al., 2013; LANGE & CHAPLA, 2017) sob condições edafoclimáticas similares às do presente trabalho.

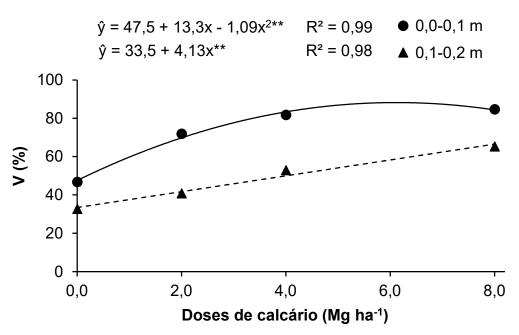


Figura 6. Saturação por bases (V) nas camadas de 0,0-0,1 m e de 0,1-0,2 m do solo em resposta às doses de calcário dolomítico em superfície. Itiquira – MT, Brasil (safra 2017/2018). Teste F: ** – significativo a 1% de probabilidade.

Na camada de 0,0-0,1 m do solo não se detectou alumínio tóxico (Tabela 5), em decorrência de sua precipitação provocada pelo calcário. Logo, na camada de 0,1-

0,2 m verificou-se redução linear na saturação por alumínio à medida que se incrementou as doses de calcário em superfície (Figura 7), demonstrando a efetividade que esse insumo apresenta em neutralizar o alumínio tóxico mediante liberação de hidroxilas. As doses de 4,0 e 8,0 Mg ha-1 de calcário na superfície do solo foram suficientes para neutralizar em 100% o alumínio tóxico da camada de 0,1-0,2 m. Reduções nos teores de alumínio em Latossolos Vermelhos em detrimento da aplicação superficial de calcário também foram reportadas por outros pesquisadores (CAMBRI, 2004; SILVA, 2008; ZANDONÁ et al., 2015; MOTA NETO et al., 2017).

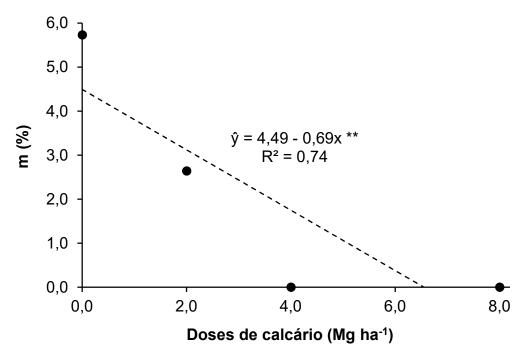


Figura 7. Saturação por alumínio (m) na camada de 0,1-0,2 m do solo em resposta às doses de calcário dolomítico em superfície. Itiquira – MT, Brasil (safra 2017/2018). Teste F: ** – significativo a 1% de probabilidade.

Embora a presença de certos resíduos vegetais seja capaz de potencializar o efeito da calagem, mobilizando a chamada frente alcalina, uma vez que esses compostos orgânicos apresentam capacidade de complexar o cálcio e o magnésio, elevar o pH e neutralizar o alumínio em profundidade (ARAÚJO, 2003), no presente trabalho tal potencialização não ficou clara, pois os sistemas de produção mensurados, com diferentes ofertas de resíduos e quantidades de fitomassa, não modificaram os principais atributos que conferem melhorias na correção química do solo, sobretudo o pH em CaCl₂ e a acidez potencial (Tabela 4) e as saturações por bases e por alumínio (Tabela 5).

No presente trabalho foram claramente perceptíveis os benefícios da calagem superficial nas camadas de 0,0-0,1 e de 0,1-0,2 m, uma vez que o acréscimo das doses de calcário dolomítico promoveu incrementos dos teores de cálcio e magnésio trocáveis (Figura 3), pH em CaCl₂ (Figura 4) e saturação por bases (Figura 6) e reduções da acidez potencial (Figura 5) e da saturação por alumínio (Figura 7). Todavia, as melhorias dos referidos atributos químicos nessas camadas foram proporcionais às doses de calcário aplicadas na superfície. Esta constatação corrobora com Caires et al. (2005), uma vez que a aplicação de calcário na superfície sem incorporação, segundo os pesquisadores, cria uma frente de correção da acidez do solo em profundidade, proporcional à dose e ao tempo.

Em outros trabalhos, nos quais foram avaliadas camadas abaixo de 0,2 m, verificou-se que o calcário aplicado na superfície, em sistema plantio direto, proporcionou melhorias nas condições de acidez não só nas camadas superficiais, como também do subsolo (CAIRES et al., 2008). Conforme Caires et al. (2013), os mecanismos que podem estar envolvidos nestas melhorias são o deslocamento vertical de partículas finas de calcário decorrente de condições favoráveis de estruturação do solo. Para Franchini et al. (2001), os resíduos vegetais proporcionam aumentos da concentração de ácidos orgânicos na camada superficial do solo, que podem beneficiar a ação da calagem pela liberação de ácidos orgânicos de baixo peso molecular durante a decomposição, capazes de complexar o alumínio tóxico e aumentar a mobilidade dos produtos originados da dissolução do calcário no perfil.

O resumo da análise de variância e os valores médios de teores de fósforo e de potássio trocável nas camadas de 0,0-0,1 m e de 0,1-0,2 m na safra 2017/2018 nos três sistemas de produção sob diferentes doses de calcário dolomítico em superfície estão apresentados na Tabela 6. Nas duas camadas mensuradas, o teor de fósforo não foi alterado, significativamente, por nenhum fator de variação estudado. A ausência de efeito significativo dos sistemas de produção sobre o teor de fósforo corrobora com os resultados de Fabian (2009), onde o pesquisador não constatou alterações significativas desse nutriente até a profundidade de 0,1 m após o cultivo de milheto e *U. brizantha* em comparação ao pousio. Entretanto, Silveira et al. (2010) mencionaram que o milheto propiciou maiores teores de fósforo no solo que os iniciais, nas camadas de 0,05-0,1 m e de 0,1-0,2 m, após o cultivo de culturas de cobertura em um Latossolo Vermelho distrófico no Cerrado goiano. Veronese et al. (2012) verificaram que a *U. ruziziensis* em rotação com soja melhorou a disponibilidade de

fósforo no solo e aumentou a sua concentração foliar na soja. Pavinato & Rosolem (2008) mostraram a possibilidade de ocorrer solubilização de fósforo do solo, de formas menos lábeis, na presença de resíduos vegetais, o que provavelmente não ocorreu no presente caso.

Tabela 6. Resumo da análise de variância e valores médios de teores de fósforo (P) e potássio (K⁺) trocável nas camadas de 0,0-0,1 m e de 0,1-0,2 m do solo em três sistemas de produção sob diferentes doses de calcário dolomítico em superfície. Itiquira – MT, Brasil (safra 2017/2018).

	0,0-	0,1 m	0,1-0,	2 m
Fator de variação	P ⁽²⁾	K ⁺	P ⁽²⁾	K ⁺
		mg	dm ⁻³	
Sistemas de produção (S) ⁽¹⁾				
Monocultivo	17,0	117,2 a	13,6	98,7 a
Sucessão de culturas	12,8	93,2 b	11,6	78,9 ab
Rotação de culturas	11,5	85,4 b	11,2	67,8 b
Doses de calcário (D)				
0,0 Mg ha ⁻¹	14,7	103,5	12,1	78,6
2,0 Mg ha ⁻¹	13,8	102,2	12,7	77,9
4,0 Mg ha ⁻¹	13,0	100,1	10,7	83,6
8,0 Mg ha ⁻¹	13,5	88,5	13,1	87,1
Média geral	13,7	98,6	12,1	81,8
		Valores	s de F ⁽³⁾	
S	2,18 ns	9,43 *	0,31 ns	6,57 *
D	0,31 ns	6,24 **	0,90 ns	1,71 ns
SxD	0,66 ns_	2,41 ns	1,53 ns	0,85_ns_
CV parcela (%)	24,54	21,88	30,05	29,87
CV subparcela (%)	12,65	9,62	15,09	14,12

Médias seguidas por mesma letra nas colunas não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade; ⁽¹⁾ Monocultivo (soja-pousio com aplicação de herbicida no período de entressafra); sucessão (soja-milheto safrinha); rotação (soja-crotalária safrinha / soja-braquiária safrinha / soja-milho safrinha).

Método: P e K+ (Mehlich-1).

Apesar de a prática da calagem tornar os nutrientes mais disponíveis às plantas (QUAGGIO, 2000), entre eles o fósforo, devido a sua menor fixação, no presente trabalho essa melhoria não foi percebida (Tabela 6). Silva (2008) reportou aumento significativo de fósforo no solo após aplicação de doses do calcário com PRNT de 100%. Mas, outros pesquisadores também não constataram incrementos nos teores de fósforo no solo após a aplicação superficial de calcário (CAIRES et al., 2003; CAMBRI, 2004; MOTA NETO et al., 2017). Provavelmente, isto não ocorreu no presente trabalho porque o calcário não tem fósforo em sua composição.

⁽²⁾ A comparação das médias foi realizada por meio da transformação dos resultados em √x+1;

⁽³⁾ Teste F: ns – não significativo; ** e * – significativo a 1% e a 5% de probabilidade, respectivamente; CV – coeficiente de variação experimental;

Em comparação à condição química do solo inicial (Tabela 1), notou-se diminuição dos teores de fósforo em ambas as camadas mensuradas, decorridos 10 anos de sua instalação (Tabela 6). Todavia, os teores de fósforo ainda foram considerados entre adequados e altos (SOUSA & LOBATO, 2004) na maioria dos tratamentos. Esse decréscimo não era esperado diante dos conceitos básicos de fertilidade do solo e adubação, haja vista que a dose de fósforo aplicada na soja (54 kg ha⁻¹ de P₂O₅) sempre tenha sido superior à quantidade exportada pela soja, que é de 10 kg de P₂O₅ por tonelada de grãos produzida, conforme dados da Embrapa (2013). Isto é, a quantidade de fósforo aplicada foi compatível com as produtividades de grãos obtidas, sendo suficiente, portanto, para atender a demanda da cultura e promover, no mínimo, a manutenção de seus teores no solo.

Por sua vez, os teores de potássio trocável na camada de 0,0-0,1 m do solo foram modificados de maneira significativa e isolada pelos sistemas de produção e pelas doses de calcário (Tabela 6). Na camada de 0,1-0,2 m houve efeito isolado apenas dos sistemas de produção sobre tal elemento. Nas duas camadas, maiores teores de potássio trocável foram constatados no monocultivo de soja, mas sem diferir estatisticamente da sucessão de soja-milheto safrinha na camada de 0,1-0,2 m. Essas constatações são justificadas pelo fato de a dose de potássio aplicada na soja (90 kg ha-1 de K2O) sempre ter sido superior à quantidade exportada pela soja, que é de 20 kg de K2O por tonelada de grãos (EMBRAPA, 2013). As produtividades de grãos alcançadas no monocultivo foram consideravelmente menores que as ofertadas pela sucessão de soja-milheto e pela rotação de culturas na maioria dos anos (resultados não apresentados), de modo a incrementar os teores de potássio trocável no solo com o passar do tempo nesse sistema de produção.

Outro aspecto que deve ser considerado para um melhor entendimento dos maiores teores de potássio trocável no monocultivo de soja é que o milheto e a crotalária, culturas que compuseram os sistemas de produção sob sucessão e rotação, respectivamente, tiveram seus grãos colhidos ao término de seus ciclos biológicos. Considerando, portanto, que essas culturas não receberam quaisquer tipos de adubação mineral, a quantidade de potássio exportada nos grãos pode ter contribuído para a redução gradual dos teores desse nutriente no solo ao longo do tempo, uma vez que a saída foi maior que a entrada do nutriente no sistema. Os valores médios encontrados nos grãos de milheto e crotalária foram de 6,7 e 11,2 kg de K₂O por tonelada de grãos, respectivamente (resultados não apresentados).

Alguns trabalhos evidenciaram benefícios na disponibilidade de potássio no solo, dependendo das culturas que compõem os sistemas de produção. Silveira et al. (2010) mencionaram tendência de as gramíneas, destacando-se o milheto, propiciarem maiores teores de potássio nas camadas profundas do solo. Fabian (2009) também constatou maiores teores de potássio nas camadas de 0,0-0,025 m e de 0,025-0,05 m do solo após o cultivo de milheto em relação à ausência de cobertura.

Na camada de 0,0-0,1 m do solo, os teores de potássio trocável reduziram linearmente com o incremento das doses de calcário em superfície (Figura 8). Logo, esse comportamento de resposta não foi mantido na camada de 0,1-0,2 m. A principal hipótese é de que essa redução tenha sido ocasionada pelo aumento de cálcio trocável no solo (Figura 3). Segundo Serafim et al. (2012), o cálcio pode deslocar o potássio de seus sítios de troca na argila do solo, tornando-o suscetível a lixiviação pela água de irrigação ou de precipitação pluvial. Esses pesquisadores verificaram redução do teor de potássio no solo com a adição de cálcio no sistema via gesso agrícola. Essa hipótese torna-se mais concreta quando analisa-se os teores de potássio trocável na camada de 0,1-0,2 m (Tabela 6), em que o comportamento de resposta foi o contrário, ou seja, houve tendência de aumento dos teores de potássio à medida que se aumentou as doses de calcário, indicando a ocorrência de movimentação vertical desse elemento no perfil, o que pode ser benéfico à nutrição das plantas, desde que o teor crítico para a cultura seja mantido na camada superficial.

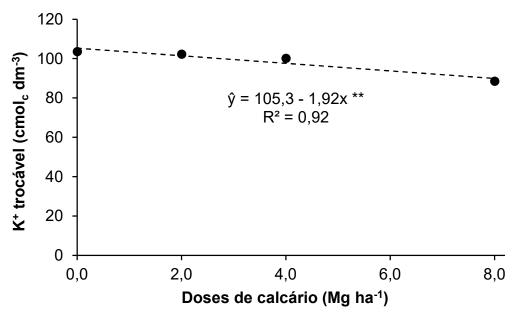


Figura 8. Teores de potássio (K⁺) trocável na camada de 0,0-0,1 m do solo em resposta às doses de calcário dolomítico em superfície. Itiquira – MT, Brasil (safra 2017/2018). Teste F: ** – significativo a 1% de probabilidade.

Percebeu-se que, ao longo do tempo, o potássio trocável no solo aumentou em ambas as camadas (Tabela 6) quando comparado aos teores iniciais (Tabela 1), o que pode ser compreendido, também, pela dose de potássio aplicada na soja ter sido sempre superior à quantidade exportada nos grãos da cultura. Outro aspecto que deve estar associado a esse aumento é a introdução do milheto e da braquiária nos sistemas de produção sob sucessão e rotação de culturas, respectivamente. Ambas as culturas são consideradas eficientes no acúmulo e liberação de potássio (TORRES & PEREIRA, 2008), por produzirem quantidades significantes de fitomassa e presença abundante de raízes nas camadas mais profundas do solo, convergindo em uma boa ciclagem do nutriente. De acordo com Benites et al. (2010), o milheto e a braquiária são capazes de reciclar, em um único ciclo, quantidades muito superiores àquelas requeridas pela maioria das culturas de interesse econômico. Os teores de potássio trocável foram considerados entre adequados e altos na maioria dos tratamentos, de acordo com as classes de interpretação de Sousa & Lobato (2004). Essa constatação é benéfica aos sistemas de produção, pois conforme Benites et al. (2010), o potássio é o segundo nutriente mais absorvido pelas plantas cultivadas e a manutenção de seus teores adequados no solo requer atenção especial.

Na Tabela 7 estão inseridos o resumo da análise de variância e os valores médios de atividade das enzimas β-glicosidase e arilsulfatase e teor de matéria orgânica em amostras de solo coletadas no florescimento pleno da soja na safra 2018/2019, na camada de 0,0-0,1 m, nos três sistemas de produção sob diferentes doses de calcário dolomítico em superfície. Os bioindicadores de qualidade do solo acima citados, foram influenciadas isoladamente apenas pelos sistemas de produção, corroborando com Acosta-Martinez & Tabatabai (2000), ao mencionarem que as práticas de manejo do solo influenciam a estrutura da comunidade microbiana e seus processos bioquímicos por meio de mudanças na quantidade e na qualidade dos resíduos vegetais que entram no solo e, portanto, biomassa microbiana e atividades enzimáticas são os primeiros indicadores de mudanças nas propriedades do solo induzidas por sistemas de manejo.

Tabela 7. Resumo da análise de variância e valores médios de atividade das enzimas β-glicosidase e arilsulfatase e teor de matéria orgânica do solo (MOS) em amostras coletadas no florescimento pleno da soja, na camada de 0,0-0,1 m, em três sistemas de produção sob diferentes doses de calcário dolomítico em superfície. Itiquira – MT, Brasil (safra 2018/2019).

	Camada de 0,0-0,1 m do solo				
Fator de variação	β-glicosidase ⁽²⁾	Arilsulfatase ⁽²⁾	MOS		
	(µg de p-nitrofen	ol g ⁻¹ de solo h ⁻¹)	(g dm ⁻³)		
Sist. de produção (S) ⁽¹⁾					
Monocultivo	60,4 b	24,6 b	27,9 b		
Sucessão de culturas	192,4 a	130,0 a	36,5 a		
Rotação de culturas	224,1 a	140,7 a	39,2 a		
Doses de calcário (D)					
0,0 Mg ha ⁻¹	165,8	106,6	35,5		
2,0 Mg ha ⁻¹	163,8	101,5	35,3		
4,0 Mg ha ⁻¹	153,8	96,8	33,4		
_ 8,0 Mg ha ⁻¹	152,3	88,8	33,9		
Média geral	158,9	98,4	34,6		
		- Valores de F ⁽³⁾			
S	161,12 **	142,89 **	58,90 **		
D	1,19 ns	0,88 ns	2,03 ns		
SxD	0,85 ns	0,92 ns	0,92 ns		
CV parcela (%)	9,92	13,49	8,85		
CV subparcela (%)	7,09	11,68	7,15		

Médias seguidas por mesma letra nas colunas não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade; ⁽¹⁾ Monocultivo (soja-pousio com aplicação de herbicida no período de entressafra); sucessão (soja-milheto safrinha); rotação (soja-crotalária safrinha / soja-braquiária safrinha / soja-milho safrinha).

Decorridos 11 anos da instalação do experimento, tanto a sucessão de sojamilheto safrinha quanto a rotação de culturas apresentaram solo de maior qualidade biológica em comparação ao monocultivo de soja (Tabela 7), demostrando que o solo nestes sistemas de produção foi mais estável e resiliente, ou seja, suportou melhor uma situação de estresse quando comparado ao solo sob monocultivo. Entre sucessão e rotação de culturas não se constataram diferenças estatísticas para tais bioindicadores de qualidade do solo. Sob um Latossolo Vermelho distrófico, Carneiro et al. (2009) não obtiveram diferenças significativas de atividades enzimáticas entre diferentes sistemas de uso e manejo do solo (milheto sob preparo convencional e nabo e sorgo em plantio direto), porém, para a urease e a fosfatase ácida.

A rotação de culturas apresentou 3,7 e 5,7 vezes mais atividade das enzimas β-glicosidase e arilsulfatase, respectivamente, do que o monocultivo de soja.

 $^{^{(2)}}$ A comparação das médias foi realizada por meio da transformação dos resultados em $\sqrt{x+1}$;

⁽³⁾ Teste F: ns – não significativo; ** – significativo a 1% de probabilidade;

CV – coeficiente de variação experimental.

Considerando que o experimento foi iniciado no ano de 2008, a bioanálise do solo realizada em 2019 apontou a sensibilidade dos bioindicadores β-glicosidase e arilsulfatase em detectar mudanças nos sistemas de produção, com diferenças mais acentuadas do que as observadas no teor de matéria orgânica do solo (diferença de 1,4 vezes entre a rotação de culturas e o monocultivo de soja). Estes resultados confirmam, ainda, que na escala da melhoria do solo, os atributos microbiológicos são os primeiros a serem impactados, conforme reportado por Mendes et al. (2019). Mais atividade biológica significa, com o passar do tempo, segundo os referidos pesquisadores, mais matéria orgânica e ciclagem de nutrientes e, consequentemente, maior estruturação e agregação do solo, o que resulta em maior retenção de água.

A explicação para o menor teor de matéria orgânica do solo observado no monocultivo de soja (Tabela 7), quando comparado aos sistemas de produção sob sucessão e rotação de culturas, pode estar ligado à rápida decomposição dos resíduos vegetais da soja, devido à sua menor relação C/N. Outra justificativa se dá pela ausência de culturas de cobertura após a colheita da soja, sobretudo de gramíneas, uma vez que o aumento da matéria orgânica, entre outros fatores, está associado aos níveis de resíduos vegetais depositados ao solo (CORREIA & DURIGAN, 2008). Por outro lado, os maiores teores de matéria orgânica obtidos na sucessão e rotação de culturas não foram suficientes ao ponto de complexar o alumínio tóxico do solo, como destacado por Vitti & Priori (2009), tendo em vista que as saturações por alumínio na camada de 0,1-0,2 m do solo foram similares nos três sistemas de produção estudados (Tabela 5).

No trabalho conduzido por Correia et al. (2017) em um Latossolo Vermelho-Amarelo de textura franco arenosa, constatou-se que a presença do milheto aumentou de 14,4 para 17,2 g dm⁻³ o teor de matéria orgânica do solo quando comparada com a sua ausência de cultivo. Fabian (2009) verificou maior teor de matéria orgânica na camada de 0,0-0,025 m do solo após o cultivo de *U. brizantha* em relação à ausência de cobertura do solo. Leite et al. (2010) também observaram acréscimo de carbono no solo em área de Latossolo Vermelho-Amarelo sob cultivo em sistema plantio direto com a presença de milheto, tendo atribuído o acréscimo aos depósitos oriundos de parte aérea e raiz. Porém, o aumento dos teores de carbônico orgânico do solo não depende unicamente dos níveis de palhada a ele adicionados mas, também, da qualidade desses resíduos, principalmente no que refere à relação C/N e de

constituintes mais resistentes à decomposição microbiana, como ligninas e celulose, como descrito por Boer et al. (2008).

No presente trabalho é muito provável que a braquiária tenha sido a cultura protagonista no sistema de rotação, devido ao seu sistema radicular ser bastante eficiente em promover estruturação adequada do solo, com formação de agregados estáveis, macroporosidade e canais, maior desenvolvimento e atividade de microrganismos do solo e maior acúmulo de matéria orgânica em profundidade no perfil (SALTON & TOMAZI, 2014). Ademais, Mendes et al. (2019) verificaram num experimento de longa duração sob as mesmas condições edafoclimáticas, que a sucessão de soja-braquiária (*U. ruziziensis*) safrinha apresentou 4,0 e 8,0 vezes mais atividade das enzimas β-glicosidase e arilsulfatase, respectivamente, do que o monocultivo de soja em plantio direto, o que comprova também, os benefícios desta gramínea nos sistemas de produção no tocante a qualidade biológica do solo.

Todavia, é prudente comparar os resultados da bioanálise do solo obtidos nos sistemas de produção com os valores de interpretação dos bioindicadores propostos por Lopes et al. (2018), específica para amostras coletadas no período chuvoso em áreas sob sistema plantio direto no Cerrado. Neste caso, notou-se que na sucessão de soja-milheto safrinha e na rotação de culturas, os valores dos bioindicadores β-glicosidase e arilsulfatase se enquadram na classe moderada, enquanto que no monocultivo de soja, ambos se enquadram na classe baixa.

O fato de as alterações nas doses de calcário em superfície não terem propiciado melhorias na qualidade biológica do solo (Tabela 7), não elimina-se ou deixa-se de dar as devidas atenções para a calagem, até porque, em ambiente com elevada acidez no solo, esta prática é fundamental para propiciar o desenvolvimento adequado das culturas, a produtividade de fitomassa e, consequentemente, as melhorias dos bioindicadores de qualidade do solo. O sistema de produção, por si só, sem as devidas correções prévias da acidez do solo, não será capaz de ofertar, ao longo do tempo, bioindicadores de qualidade do solo em níveis desejados.

É conhecido que a calagem estimula a atividade de microrganismos, os quais também possuem papel importante na mineralização de carbono e de nitrogênio. Fuentes et al. (2006) constataram que as alterações crescentes nas doses de calcário (0,0; 4,4; 8,8 e 17,6 Mg ha⁻¹) aumentaram, com o tempo e de forma proporcional, os níveis de nitrato devido as condições mais favoráveis ao crescimento de nitrificadores (pH>5,5) e também devido ao aumento de carbono orgânico dissolvido.

O resumo da análise de variância e os valores médios de população final de plantas, massa de mil grãos e produtividade de grãos de soja nas safras 2017/2018 e 2018/2019, nos três sistemas de produção sob diferentes doses de calcário dolomítico em superfície estão apresentados na Tabela 8. A população final de plantas, determinada apenas na safra 2017/2018, não foi influenciada pelos tratamentos, o que indica que as demais variáveis mensuradas possivelmente não foram afetadas indiretamente por esta. Silva (2008) também não verificou efeito de culturas de cobertura e doses de calcário em superfície (entre 0,19 e 1,84 Mg ha-1) no sistema plantio direto sobre a população final de plantas de soja.

Tabela 8. Resumo da análise de variância e valores médios de população final de plantas (PFP), massa de mil grãos (MMG) e produtividade de grãos (PROD) de soja em três sistemas de produção sob diferentes doses de calcário dolomítico em superfície. Itiquira – MT, Brasil (safras 2017/2018 e 2018/2019).

	Cultura da soja				
Fator de variação	2017/2018			2018	3/2019
rator de variação	PFP	MMG	PROD	MMG	PROD
	plantas ha ⁻¹	(g)	(Mg ha ⁻¹)	(g)	(Mg ha ⁻¹)
Sist. de produção (S) ⁽¹⁾					
Monocultivo	432.899,3	186,8 b	4,23	182,9	3,89 с
Sucessão de culturas	417.274,3	191,9 a	4,77	179,8	5,27 b
Rotação de culturas	416.579,9	191,8 a	5,20	179,4	5,86 a
Doses de calcário (D)					
0,0 Mg ha ⁻¹	413.194,4	189,0	4,74	179,3	5,14
2,0 Mg ha ⁻¹	417.013,9	188,9	4,81	180,6	5,16
4,0 Mg ha ⁻¹	428.009,3	192,4	4,74	181,1	5,07
8,0 Mg ha ⁻¹	_ 430.787,0	_ 190,4_	4,64	181,7_	4,65
Média geral	422.251,2	190,2	4,73	180,7	5,00
		V	alores de F ⁽²)	
S	1,51 ns	7,24 *	50,57 **	4,82 ns	309,8 **
D	1,59 ns	1,75 ns	1,17 ns	0,65 ns	3,30 *
SxD	0,43 ns	0,84 ns	3,84 **	_0,76_ns_	_0,67 ns _
CV parcela (%)	7,11	2,30	5,80	1,93	4,60
CV subparcela (%)	5,50	2,29	4,79	2,45	9,17

Médias seguidas por mesma letra nas colunas não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade; (1) Monocultivo (soja-pousio com aplicação de herbicida no período de entressafra); sucessão (soja-milheto safrinha); rotação (soja-crotalária safrinha / soja-braquiária safrinha / soja-milho safrinha). (2) Teste F: ns – não significativo; ** e * – significativo a 1% e a 5% de probabilidade, respectivamente; CV – coeficiente de variação experimental.

A massa de mil grãos de soja na safra 2017/2018 sofreu efeito significativo e isolado somente dos sistemas de produção (Tabela 8). Tanto a sucessão de sojamilheto safrinha quanto a rotação de culturas proporcionaram maiores valores de massa de mil grãos. Diversos pesquisadores, ente eles Cruz et al. (2008), enfatizaram que a massa de grãos é uma característica influenciada pelo genótipo, pela disponibilidade de nutrientes e pelas condições climáticas durante os estádios de enchimento dos grãos. Haja vista que a cultivar de soja e as condições climáticas foram as mesmas durante o ciclo da cultura em todos os sistemas de produção, no presente trabalho, certamente os principais motivos que justificam os maiores valores de massa de mil grãos na sucessão e na rotação de culturas estejam relacionados aos benefícios que algumas culturas podem propiciar aos sistemas de produção no tocante ao aumento da disponibilidade de nutrientes no solo, sobretudo pelo milheto e braquiária, ambas gramíneas com sistema radicular abundante e com elevado potencial de ciclagem de nutrientes das camadas mais profundas do solo.

Contudo, na safra 2018/2019, a massa de mil grãos de soja não foi influenciada significativamente por nenhum dos fatores de variação estudados (Tabela 8). Importante ressaltar que em ambas as safras, a massa de mil grãos ficou pouco acima da esperada e informada para a cultivar utilizada, que é de 170,0 g (BRASMAX, 2017). O fato de a massa de mil grãos não ter sido alterada, significativamente, pelas doses de calcário corrobora com os resultados constatados por Silva (2008).

Na safra 2017/2018, constatou-se efeito significativo e isolado dos sistemas de produção e interação entre este fator e as doses de calcário sobre a produtividade de grãos (Tabela 8). Verificou-se que nas doses zero e 2,0 Mg ha-1, tanto a sucessão de soja-milheto safrinha quanto a rotação de culturas propiciaram maiores produtividades de grãos em comparação ao monocultivo de soja (Tabela 9). Estes resultados mostram-se coerentes aos obtidos por Veronese et al. (2012), os quais concluíram que a introdução de milheto ou de *U. ruziziensis* safrinha no sistema de produção aumentou a produtividade de grãos de soja em comparação ao monocultivo de soja. No entanto, nas doses de 4,0 e 8,0 Mg ha-1, a rotação de culturas foi unânime em proporcionar maiores produtividades de grãos em relação a sucessão de soja-milheto safrinha e ao monocultivo. Foi possível constatar, portanto, que a rotação de culturas se destacou quando as doses de calcário em superfície foram elevadas, ou seja, condição em que favoreceu significativamente o aumento das populações de *H. glycines* no solo (Figura 18) e na raiz da soja (Figura 19).

Tabela 9. Produtividade de grãos de soja em três sistemas de produção sob diferentes doses de calcário dolomítico em superfície. Itiquira – MT, Brasil (safra 2017/2018).

Sistemas de	Doses de calcário (Mg ha ⁻¹)				
produção ⁽¹⁾	0,0	2,0	4,0	8,0	
	Produtividade de grãos de soja (Mg ha ⁻¹)				
Monocultivo	4,09 b	4,30 b	4,18 c	4,33 b	
Sucessão de culturas	5,05 a	4,94 a	4,63 b	4,44 b	
Rotação de culturas	5,07 a	5,19 a	5,41 a	5,14 a	

Médias seguidas por mesma letra nas colunas não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade; ⁽¹⁾ Monocultivo (soja-pousio com aplicação de herbicida no período de entressafra); sucessão (soja-milheto safrinha); rotação (soja-crotalária safrinha / soja-braquiária safrinha / soja-milho safrinha).

Independente da dose de calcário aplicada (exceto para 8,0 Mg ha⁻¹), o monocultivo de soja foi, novamente, considerado o pior sistema de produção (Tabela 9). A supremacia da rotação de culturas se deve à redução nas populações de *H. glycines* no solo e na raiz (Tabela 19), proporcionada pela *C. ochroleuca*. Silva et al. (2018) também obtiveram maiores produtividades de grãos de soja nos sistemas de rotação onde as crotalárias foram inseridas, entre elas, a *C. ochroleuca*.

Por outro lado, obteve-se redução linear na produtividade de grãos de soja com o incremento das doses de calcário apenas na sucessão de soja-milheto safrinha (Figura 9), o que em parte é justificada pelo aumento das populações de *H. glycines* no solo e na raiz da cultura favorecidas pelas maiores doses de calcário, como discutido anteriormente. No entanto, resultados diferentes foram obtidos por Veronese et al. (2012), ao verificarem que a produtividade de grãos de soja respondeu de forma quadrática positiva às doses de calcário dolomítico aplicadas nos sistemas de produção com milheto e *U. ruziziensis* na safrinha. Os referidos pesquisadores observaram, ainda, que a resposta produtiva da soja à calagem foi muito mais intensa no monocultivo de soja do que na sucessão com milheto ou braquiária. Outros pesquisadores também tiveram resposta quadrática positiva da produtividade de grãos de soja às doses de calcário dolomítico aplicadas em superfície no sistema plantio direto (CAIRES et al., 2000).

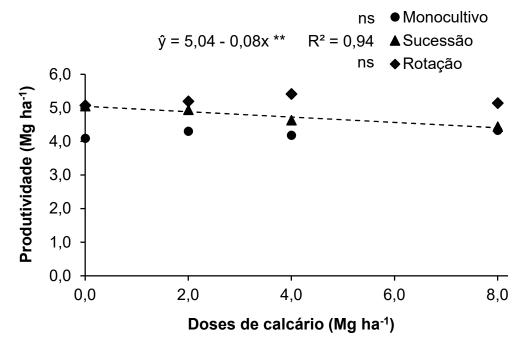


Figura 9. Produtividade de grãos de soja em três sistemas de produção em três sistemas de produção sob diferentes doses de calcário dolomítico em superfície. Itiquira – MT, Brasil (safra 2017/2018). Teste F: ns – não significativo; ** – significativo a 1% de probabilidade.

Chama a atenção o fato de após 10 anos sem adição de calcário ao solo no presente trabalho terem sido alcançadas produtividades de grãos de soja satisfatórias. Muito provavelmente, o fato de o solo ser argiloso (567 g dm⁻³ de argila), associado ao seu histórico de cultivo e adubações, o que o torna tamponante ao longo do tempo, possa ser uma justificativa para se compreender tais produtividades. Nicolodi et al. (2008) concluíram que em plantio direto, preservando e aportando carbono ao sistema, as plantas podem se desenvolver e obter altas produtividades de grãos na presença de altos teores de alumínio trocável e muito baixos de pH. Caires et al. (2000) também relataram que altas produtividades de grãos têm sido observadas com certa frequência em solos ácidos sob sistema plantio direto. Os pesquisadores mencionados afirmaram, ainda, haver redução da produtividade de grãos de soja mediante o emprego de doses mais elevadas de calcário superficial devido à diminuição da absorção de nutrientes. Caires et al. (2003) verificaram redução nos teores foliares de zinco na soja, após três cultivos sucessivos, em decorrência do aumento do pH do solo proporcionado pela aplicação de calcário em superfície em sistema plantio direto. Silva (2008) verificou que o aumento das doses de calcário reduziu significativamente os teores de manganês nas folhas de soja. A menor

absorção destes nutrientes é decorrente da diminuição de suas concentrações na solução do solo com o aumento do pH pela calagem superficial (TANAKA et al., 1992), reduzidas com a formação de compostos de baixa solubilidade.

A produtividade de grãos de soja na safra 2018/2019 foi influenciada isoladamente pelos sistemas de produção e pelas doses de calcário (Tabela 8). A rotação de culturas incrementou em 11,3 e 50,8% a produtividade de grãos em comparação a sucessão de soja-milheto safrinha e ao monocultivo, respectivamente, corroborando novamente com os resultados de Silva et al. (2018) e comprovando os seus benefícios ao longo do tempo. Provavelmente, os benefícios da rotação de culturas foram impulsionados pela *U. ruziziensis*, pois quando esta é inserida na rotação, ocorre adequada estruturação do solo, maior desenvolvimento e atividade de microrganismos do solo e maior acúmulo de matéria orgânica (SALTON & TOMAZI, 2014). A introdução de gramíneas na rotação pode, ainda, minimizar a ocorrência de insetos-praga, doenças e plantas daninhas.

Na safra 2018/2019, novamente verificou-se redução linear na produtividade de grãos de soja com o aumento das doses de calcário (Figura 10). Esse comportamento pode ser compreendido pelo aumento das populações de *H. glycines* no solo e na raiz da cultura nas maiores doses de calcário e por uma possível redução na absorção de micronutrientes, sobretudo de manganês, zinco e ferro, uma vez que o aumento do pH nas camadas superficiais do solo, proporcionado pela calagem, colabora para a redução na disponibilidade destes nutrientes no solo, podendo chegar a limites que tragam deficiência para a cultura (SILVA, 2008). Esta possibilidade indica, portanto, que deve-se ter cuidados no momento da definição da dose do corretivo a ser aplicada superficialmente no sistema plantio direto, a fim de não proporcionar desequilíbrio dos atributos químicos do solo e danos à produtividade.

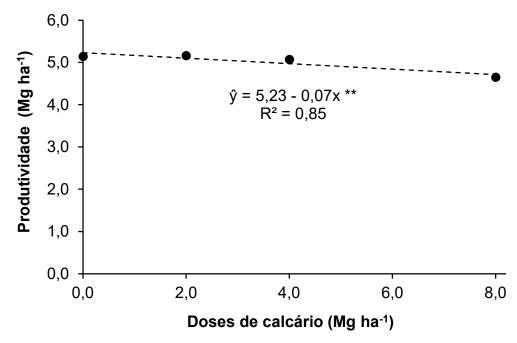


Figura 10. Produtividade de grãos de soja em resposta às doses de calcário dolomítico em superfície. Itiquira – MT, Brasil (safra 2018/2019). Teste F: ** – significativo a 1% de probabilidade.

De maneira geral, as produtividades de grãos de soja em todos os tratamentos ficaram bem acima das médias obtidas no estado de Mato Grosso nas safras 2017/2018 e 2018/2019, que foram de 3,39 e 3,35 Mg ha⁻¹, respectivamente (CONAB, 2020). Um dos fatores que explicam tais produtividades de grãos são as boas precipitações pluviais registradas durante o ciclo biológico da cultura, que foram de 1.980,9 e 1.236,2 mm nas safras 2017/2018 e 2018/2019, respectivamente. Estas atenderam a necessidade total de água exigida pela soja para obtenção da máxima produtividade de grãos, que oscila entre 450 e 800 mm por ciclo, dependendo das condições climáticas, manejo da cultura e duração do seu ciclo (FARIAS et al., 2007).

Na Tabela 10 estão disponíveis o resumo da análise de variância e os valores médios de população final de plantas, massa de mil grãos e produtividade de grãos de milho na safrinha de 2019 no sistema de rotação de culturas sob diferentes doses de calcário dolomítico em superfície. Percebe-se que nenhuma das variáveis citadas foram alteradas, significativamente, pela calagem. Do ponto de vista agronômico e interpretativo, a ausência de resposta da população de plantas às alterações nas doses de calcário mostra-se um bom indicativo de que as demais variáveis, provavelmente, não foram afetadas indiretamente por esta.

Tabela 10. Resumo da análise de variância e valores médios de população final de plantas (PFP), massa de mil grãos (MMG) e produtividade de grãos (PROD) de milho safrinha no sistema de rotação de culturas sob diferentes doses de calcário dolomítico em superfície. Itiquira – MT, Brasil (safrinha de 2019).

	Cultura do milho (safrinha de 2019)				
Fator de variação	PFP	MMG	PROD		
	(plantas/ha)	(g)	(Mg ha ⁻¹)		
Doses de calcário (D)					
0,0 Mg ha ⁻¹	72.222,2	314,9	9,87		
2,0 Mg ha ⁻¹	69.791,7	319,0	10,37		
4,0 Mg ha ⁻¹	68.750,0	319,4	10,52		
8,0 Mg ha ⁻¹	67.708,3	317,2	10,42		
Média geral	69.618,1	317,6	10,29		
		Valores de F ⁽¹⁾			
D	1,05 ns	0,21 ns	0,80 ns		
CV subparcela (%)	5,41	2,81	6,26		

⁽¹⁾ Teste F: ns – não significativo; CV – coeficiente de variação experimental.

A ausência de efeito da calagem sobre a produtividade de grãos de milho pode ser compreendida pelas boas condições climáticas ocorridas durante a safrinha de 2019, sobretudo pela precipitação pluvial regular até meados do mês de maio (Figura 1). Esta justificativa é respaldada, ainda, no estudo de Caires et al. (2008), onde observaram que em anos que não ocorreu déficit hídrico, o alumínio tóxico presente no solo não prejudicou severamente o desenvolvimento radicular do milho.

Outrossim, as boas produtividades de grãos comprovam que a precipitação pluvial de 510,6 mm durante o ciclo do milho safrinha foi adequada, principalmente nos períodos críticos de desenvolvimento (florescimento e enchimento de grãos). A literatura tem mostrado que a cultura do milho exige, em média, entre 350 e 500 mm de precipitação por ciclo, bem-distribuída, para que produza satisfatoriamente sem a necessidade de irrigação, caso do ambiente safrinha (KAPPES, 2015). Em todos os tratamentos, as produtividades de grãos ficaram bem acima da média obtida no estado de Mato Grosso na safrinha de 2019, que foi de 6,38 Mg ha-1 (CONAB, 2020). Um aspecto que justifica a satisfatória produtividade de grãos de milho sem a adição de calcário ao solo após 10 anos são as baixas saturações por alumínio (SOUSA & LOBATO, 2004), que foram de 0,0 e 5,73% nas camadas de 0,0-0,1 m e de 0,1-0,2 m, respectivamente, nesse tratamento (Tabela 5). Coelho (2006) afirma que o milho é uma cultura com pouca tolerância ao alumínio tóxico e sua saturação acima de 20% no solo pode ocasionar perdas de 7 a 47% na produtividade de grãos.

Em um estudo conduzido num Latossolo Vermelho distrófico no estado de Mato Grosso, Ono et al. (2017) verificaram que ao longo de cinco anos, em três deles a ausência de calcário não proporcionou menor produtividade de grãos de milho, o que corrobora com as constatações do presente trabalho e com as conclusões de Nicolodi et al. (2008). Caires et al. (2000) também não obtiveram incremento significativo na produtividade de grãos de milho após as aplicações de doses crescentes (0,0; 2,0; 4,0 e 6,0 Mg ha⁻¹) de calcário dolomítico em superfície no sistema plantio direto.

As produtividades de fitomassa seca de parte aérea de milheto e braquiária nos sistemas de sucessão e rotação de culturas, respectivamente, nas safrinhas de 2018 e 2019, não foram alteradas significativamente pelas doses de calcário dolomítico em superfície (Tabela 11). Contudo, resultados diferentes foram obtidos por Silva (2008), ocasião em que se constatou incremento na fitomassa seca de parte aérea do milheto após aplicações de doses de calcário em superfície no sistema plantio direto.

Tabela 11. Resumo da análise de variância e valores médios de produtividade de fitomassa seca de parte aérea de milheto e braquiária nos sistemas de sucessão e rotação de culturas, respectivamente, sob diferentes doses de calcário dolomítico em superfície. Itiquira – MT, Brasil (safrinhas de 2018 e 2019).

	Produtividade de fitomassa seca de parte aérea					
Estar de variação	Milh	Milheto				
Fator de variação	Safrinha 2018 Safrinha 2019		Safrinha 2018			
		Mg ha ⁻¹				
Doses de calcário (D)						
0,0 Mg ha ⁻¹	4,14	5,41	9,32			
2,0 Mg ha ⁻¹	4,13	5,59	9,31			
4,0 Mg ha ⁻¹	4,76	5,99	8,92			
8,0 Mg ha ⁻¹	5,08	6,06	10,18			
Média geral	4,53	5,76	9,43			
	Valores de F ⁽¹⁾					
D	2,00 ns	0,57 ns	0,74 ns			
CV subparcela (%)	14,66	14,58	13,16			

⁽¹⁾ Teste F: ns – não significativo; CV – coeficiente de variação experimental.

As produtividades de fitomassa seca de parte aérea de milheto e braquiária, estatisticamente semelhantes na dose zero e na maior dose de calcário em superfície (Tabela 11), revelam a boa adaptação e eficiência destas culturas em se desenvolver em ambiente cujo solo é ácido. Em determinadas situações, portanto, estes aspectos podem ser vantajosos agronomicamente, por não haver comprometimento drástico no aporte de fitomassa em sistemas de produção que não recebem calagem há vários

anos. Ernani et al. (2001) relataram que culturas de cobertura nas regiões de Cerrado devem ter capacidade de adaptação à baixos valores de pH do solo, característica verificada com o milheto e a braquiária no presente trabalho.

As maiores produtividades de fitomassa seca de parte aérea de milheto na safrinha de 2019, evidenciadas em todas as doses de calcário (Tabela 11) são atribuídas à sua semeadura antecipada (10 dias) e à precipitação pluvial regular até meados do mês de maio (Figura 1), em relação ao ano anterior. No Cerrado, o milheto se destaca por apresentar rápido crescimento, elevada produção de fitomassa seca em curto período de tempo, atribuída a maior assimilação de CO₂ (maior eficiência fotossintética) por ser uma planta C4, sistema radicular profundo e abundante (GONÇALVES et al., 2006), alta capacidade de reciclagem de nutrientes do solo (BOER et al., 2007), tolerância à seca e ser bem adaptado ao cultivo em solos arenosos e argilosos. Se comparadas ao milheto, as maiores produtividades de fitomassa seca de parte aérea da braquiária na safrinha de 2019 justificam-se pelo fato desta ser uma gramínea perene, ter permanecido no campo se desenvolvendo por mais tempo e pela boa disponibilidade hídrica. Como reportado inicialmente, o milheto utilizado (cultivar ADR 300) é de ciclo precoce (RODRIGUES & PEREIRA FILHO, 2010), portanto, sua capacidade em acumular fitomassa ficou limitada com a finalização do seu ciclo biológico, o que não ocorreu com a braquiária.

Pesquisas em solos de Cerrado sugerem a necessidade de atingir, em programas de manejo e cultivo, produtividades de fitomassa seca de parte aérea de 6,0 a 12,0 Mg ha⁻¹, pelo fato de a decomposição do material depositado sobre a superfície do solo ser mais elevada nas regiões de clima tropical (ALVARENGA et al., 2001). Portanto, pode-se considerar que somente a braquiária proporcionou as produtividades de fitomassa sugeridas, o que também foi verificado no trabalho desenvolvido por Rossi et al. (2012). Todavia, há trabalhos demonstrando que o milheto também tem produzido fitomassa em quantidade e qualidade adequada aos sistemas de produção (BOER et al., 2008; TEIXEIRA et al., 2011).

Na Tabela 12 encontra-se o resumo da análise de variância multivariada demonstrando a correlação entre cada componente principal e os atributos químicos e bioindicadores de qualidade do solo nas camadas de 0,0-0,1 m e 0,1-0,2 m, fitomassa seca de parte aérea das culturas de cobertura, massa de mil grãos e produtividade de grãos de soja nas safras 2017/2018 e 2018/2019. Os autovetores apresentados correspondem à dois componentes principais e podem ser

considerados como uma medida da relativa importância de cada variável, em relação aos componentes principais, sendo os sinais positivos ou negativos (variam de -1 a +1) indicações de relações diretamente e inversamente proporcionais, respectivamente. No caso em questão, como critério para classificação dos autovetores, destacou-se os valores absolutos maiores que 0,6, independentemente se positivos ou negativos. Os componentes principais foram responsáveis por explicar 69,61% da variância total dos resultados originais, sendo 40,7% pelo componente principal 1 e 28,91% pelo componente principal 2.

Tabela 12. Resumo da análise de variância multivariada demonstrando a correlação entre cada componente principal e os atributos químicos e bioindicadores de qualidade do solo nas camadas de 0,0-0,1 m e 0,1-0,2 m, fitomassa seca de parte aérea das culturas de cobertura, massa de mil grãos (MMG) e produtividade de grãos (PROD) de soja. Itiquira – MT, Brasil (safras 2017/2018 e 2018/2019).

Variáncia	CP1	CP2
Variáveis	Coeficientes	de correlação
Fósforo (0,0-0,1 m)	-0,35	0,39
Potássio (0,0-0,1 m)	-0,43	0,66*
Cálcio (0,0-0,1 m)	0,90*	0,04
Magnésio (0,0-0,1 m)	0,93*	0,02
pH em CaCl ₂ (0,0-0,1 m)	0,87*	0,33
H+AI (0,0-0,1 m)	-0,85*	-0,34
V% (0,0-0,1 m)	0,89*	0,26
Fósforo (0,1-0,2 m)	-0,10	0,22
Potássio (0,1-0,2 m)	0,04	0,79*
Cálcio (0,1-0,2 m)	0,84*	0,08
Magnésio (0,1-0,2 m)	0,93*	0,10
pH em CaCl ₂ (0,1-0,2 m)	0,88*	0,23
H+AI (0,1-0,2 m)	-0,92*	-0,30
V% (0,1-0,2 m)	0,92*	0,21
m% (0,1-0,2 m)	-0,74*	-0,13
ß-glicosidase (0,0-0,1 m)	0,27	-0,91*
Arilsulfatase (0,0-0,1 m)	0,25	-0,88*
MOS (0,0-0,1 m)	0,20	-0,91*
Fitomassa das coberturas	0,32	-0,88*
PROD de soja (2017/2018)	0,23	-0,78*
MMG de soja (2017/2018)	0,37	-0,42
PROD de soja (2018/2019)	0,19	-0,85*
MMG de soja (2018/2019)	0,11	0,42
PVT (%)	40,70	28,91
PVA (%)	40,70	69,61

CP1 - componente principal 1. CP2 - componente principal 2. PVT - proporção da variância total explicada. PVA - proporção da variância acumulada explicada. *Valores mais discriminatórios.

A correlação entre as variáveis e os componentes principais permitiu caracterizar as variáveis que mais discriminaram na diferenciação dos sistemas de produção. A variável mais fortemente relacionada com o monocultivo de soja foi o potássio trocável nas camadas de 0,0-0,1 m e 0,1-0,2 m do solo (Tabela 12 e Figura 11). Os maiores teores de potássio trocável no monocultivo são justificados pela aplicação anual de 90 kg ha-1 de K₂O na soja, cuja dose sempre foi superior à quantidade exportada pela cultura, como discutido anteriormente. As produtividades de grãos no monocultivo foram menores que as ofertadas pela sucessão de sojamilheto e pela rotação de culturas na maioria dos anos, o que contribuiu para o incremento gradativo dos teores de potássio trocável no solo em monocultivo. Outro aspecto que deve ser considerado é que no monocultivo não teve inserção de culturas após a soja, portanto, não houve exportação de potássio, manejo que aconteceu na sucessão e rotação de culturas ao inserir milheto e crotalária, respectivamente, que não receberam quaisquer tipos de adubação mineral e tiveram seus grãos colhidos.

A sucessão de soja-milheto safrinha apresentou maior relação com os teores de cálcio e magnésio trocáveis, pH em CaCl₂ e saturação por bases nas camadas de 0,0-0,1 m e de 0,1-0,2 m do solo (Tabela 12 e Figura 11). Os valores destes atributos químicos foram maiores neste sistema de produção pois os resíduos vegetais promovem, antes da humificação, a elevação do pH, em razão da complexação de hidrogênio e alumínio com compostos do resíduo vegetal, deixando cálcio e magnésio mais livres em solução, o que pode ocasionar aumento na saturação por esses cátions (PAVINATO & ROSOLEM, 2008). Outra justificativa é que pode ter ocorrido maiores taxas de ciclagem de cálcio e magnésio na sucessão devido a inserção do milheto, cultura com sistema radicular abundante. No trabalho de Correia et al. (2017), o milheto aumentou significativamente os teores de cálcio e a saturação por bases na camada de 0,0-0,2 m do solo em comparação à sua ausência. Os pesquisadores associaram o aumento da saturação por bases ao incremento da matéria orgânica do solo.

A sucessão de soja-milheto safrinha também é caracterizada por apresentar menor acidez potencial (H⁺ + Al³⁺) nas camadas de 0,0-0,1 m e 0,1-0,2 m e menor saturação por alumínio na camada de 0,1-0,2 m do solo (Tabela 12 e Figura 11), o que vai de encontro com as afirmações de Araújo (2003), ao mencionar que certos compostos orgânicos apresentam capacidade de complexar o cálcio e o magnésio, elevar o pH e neutralizar o alumínio em profundidade.

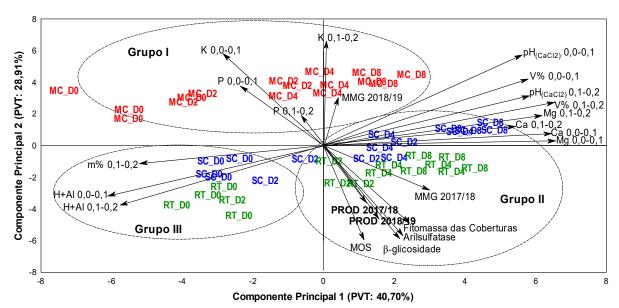


Figura 11. Análise dos componentes principais explicando 69,61% da proporção da variação total dos resultados dos atributos químicos e bioindicadores de qualidade do solo nas camadas de 0,0-0,1 m e 0,1-0,2 m, fitomassa seca de parte aérea das culturas de cobertura, massa de mil grãos (MMG) e produtividade de grãos (PROD) de soja sob monocultivo (MC), sucessão (SC) e rotação de culturas (RT). Itiquira – MT, Brasil (safras 2017/2018 e 2018/2019).

O sistema de produção sob rotação de culturas é caracterizado por apresentar forte correlação com os bioindicadores de qualidade do solo (β-glicosidase, arilsulfatase e matéria orgânica) na camada de 0,0-0,1 m no florescimento pleno da soja, e com fitomassa seca de parte aérea das culturas de cobertura e produtividade de grãos de soja nas safras 2017/2018 e 2018/2019 (Tabela 12 e Figura 11). Os bioindicadores mostraram-se coerentes com Acosta-Martinez & Tabatabai (2000), ao mencionarem que as práticas de manejo do solo influenciam a estrutura da comunidade microbiana e seus processos bioquímicos por meio de mudanças na quantidade e na qualidade dos resíduos vegetais que entram no solo e, portanto, atividades enzimáticas são os primeiros indicadores de mudanças nas propriedades do solo induzidas por sistemas de manejo. As maiores produtividades de grãos de soja constatadas na rotação de culturas corroboram com os resultados de Silva et al. (2018) e comprovam os seus benefícios ao longo do tempo. É muito provável que os benefícios da rotação de culturas foram impulsionados pela *U. ruziziensis*, pois de acordo com Salton & Tomazi (2014), quando esta é inserida na rotação, ocorre adequada estruturação do solo, maior desenvolvimento atividade microrganismos do solo e maior acúmulo de matéria orgânica.

4.2 Dinâmica populacional de nematoides

Não se detectou presença de juvenis e adultos de *M. javanica* e *M. incognita* nas amostras de solo e raiz coletadas nas safras 2017/2018 e 2018/2019 após as determinações laboratoriais, podendo-se inferir que a área onde o experimento foi conduzido não apresentava infestações desses nematoides.

O resumo da análise de variância e os valores médios de população de *P. brachyurus* em amostras de solo e raiz da soja nas safras 2017/2018 e 2018/2019 nos três sistemas de produção sob diferentes doses de calcário dolomítico em superfície são apresentados na Tabela 13. As populações desse nematoide, tanto no solo quanto na raiz, em ambas as safras, foram influenciadas isoladamente pelos sistemas de produção e pelas doses de calcário e pela interação entre esses fatores de variação.

Tabela 13. Resumo da análise de variância e valores médios de *Pratylenchus brachyurus* em amostras de solo e raiz coletadas no florescimento pleno da soja em três sistemas de produção sob diferentes doses de calcário dolomítico em superfície. Itiquira – MT, Brasil (safras 2017/2018 e 2018/2019).

	Pratylenchus brachyurus ⁽²⁾				
Estor do variação	2017/2	2018	2018/2019		
Fator de variação	Solo (200 cm³)	Raiz (5 g)	Solo (200 cm ³)	Raiz (5 g)	
Sistemas de produção (S) ⁽¹⁾					
Monocultivo	15,0	261,3	20,0	349,4	
Sucessão de culturas	6,3	196,9	0,6	146,3	
Rotação de culturas	3,1	113,8	8,8	306,3	
Doses de calcário (D)				_	
0,0 Mg ha ⁻¹	12,5	327,5	28,3	453,3	
2,0 Mg ha ⁻¹	10,0	194,2	5,0	294,2	
4,0 Mg ha ⁻¹	5,8	124,2	5,8	240,0	
8,0 Mg ha ⁻¹	4,2	116,7	0,0	81,7	
Média geral	8,1	190,6	9,8	267,3	
	Valores de F ⁽³⁾				
S	12,18 **	6,34 *	20,76 **	23,25 **	
D	5,73 **	6,70 **	34,72 **	41,29 **	
SxD	2,66 *	10,40 **	10,83 **	9,09 **	
CV parcela (%)	48,40	32,15	47,62	22,35	
CV subparcela (%)	36,78	31,16	35,75	19,79	

⁽¹⁾ Monocultivo (soja-pousio com aplicação de herbicida no período de entressafra); sucessão (soja-milheto safrinha); rotação (soja-crotalária safrinha / soja-braquiária safrinha / soja-milho safrinha).

⁽²⁾ A comparação das médias foi realizada por meio da transformação dos resultados em √x+1;

⁽³⁾ Teste F: ns – não significativo; ** e * – significativo a 1% e a 5% de probabilidade, respectivamente; CV – coeficiente de variação experimental.

Na Tabela 14 constam os desdobramentos da interação entre sistemas de produção e doses de calcário em superfície para as populações de *P. brachyurus* no solo e na raiz da soja nas safras 2017/2018 e 2018/2019. Na dose zero e na menor dose de calcário (2,0 Mg ha⁻¹), a rotação de culturas na safra 2017/2018 resultou menores densidades populacionais de *P. brachyurus* no solo, o que revela, portanto, sua maior efetividade no manejo desse nematoide em ambiente ácido quando comparada com o monocultivo de soja e a sucessão de soja-milheto safrinha. Nas doses de 4,0 e 8,0 Mg ha⁻¹ de calcário, o comportamento de resposta foi similar, verificando-se menores densidades populacionais de *P. brachyurus* no solo tanto na sucessão de soja-milheto safrinha quanto na rotação de culturas. Nessas doses, na sucessão de soja-milheto safrinha não identificou-se presença de *P. brachyurus* no solo, ficando evidente portanto, que a medida em que foi-se corrigindo a acidez do solo mediante a aplicação de calcário, esse sistema de produção passou a melhorar a eficiência no manejo de *P. brachyurus*.

Tabela 14. Pratylenchus brachyurus em amostras de solo e raiz coletadas no florescimento pleno da soja em três sistemas de produção sob diferentes doses de calcário dolomítico em superfície. Itiquira – MT, Brasil (safras 2017/2018 e 2018/2019).

Safra 2017/2018						
Sistemas de		Doses de calcário (Mg ha ⁻¹)				
produção ⁽¹⁾	0,0	2,0	4,0	8,0		
	Pratylend	Pratylenchus brachyurus no solo (200 cm ³) ⁽²⁾				
Monocultivo	20,0 a	15,0 a	15,0 a	10,0 a		
Sucessão de culturas	15,0 a	10,5 a	0,0 b	0,0 b		
Rotação de culturas	2,5 b	5,0 b	2,5 b	2,5 b		
	Pratylenchus brachyurus na raiz (5 g) ⁽²⁾					
Monocultivo	612,5 a	212,5 a	82,5 a	137,5 a		
Sucessão de culturas	332,5 b	325,0 a	105,0 a	25,0 b		
Rotação de culturas	37,5 c	45,0 b	185,0 a	187,5 a		
	Safra	2018/2019				
	Pratylend	chus brachyu	rus no solo (200	cm ³) ⁽²⁾		
Monocultivo	60,0 a	10,0 a	10,0 a	0,0 a		
Sucessão de culturas	0,0 c	0,0 b	2,5 b	0,0 a		
Rotação de culturas	25,0 b	5,0 ab	5,0 ab	0,0 a		
	Pratylenchus brachyurus na raiz (5 g) ⁽²⁾					
Monocultivo	780,0 a	277,5 b	240,0 b	100,0 a		
Sucessão de culturas	340,0 b	165,0 c	80,0 c	0,0 b		
Rotação de culturas	240,0 b	440,0 a	400,0 a	145,0 a		

Médias seguidas por mesma letra nas colunas não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade; ⁽¹⁾ Monocultivo (soja-pousio com aplicação de herbicida no período de entressafra); sucessão (soja-milheto safrinha); rotação (soja-crotalária safrinha / soja-braquiária safrinha / soja-milho safrinha). ⁽²⁾ A comparação das médias foi realizada por meio da transformação dos resultados em √x+1.

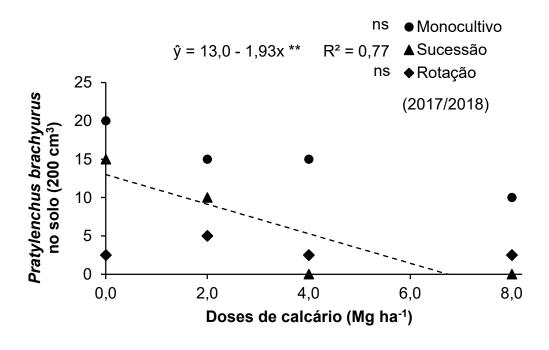
O fato de a sucessão de soja-milheto safrinha e a rotação de culturas, nas doses de 4,0 e 8,0 Mg ha⁻¹ de calcário, terem proporcionado menores populações de *P. brachyurus* no solo ao longo do tempo, comparativamente ao monocultivo de soja, mostra conformidade com Silva et al. (2019), ao reportarem que o milheto, cv. ADR 300, é um dos mais resistentes ao *P. brachyurus* e que seu uso na sucessão com soja, a população de *P. brachyurus* será reduzida. De acordo com tais pesquisadores, *C. ochroleuca* é resistente ao *P. brachyurus*, e consequentemente, o nematoide morre sem se reproduzir. Isso ajuda a compreender as menores populações desse nematoide na rotação de culturas, uma vez que a *C. ochroleuca* compôs o sistema de rotação na safra 2016/2017, antecedendo a soja da safra 2017/2018. Ferrari et al. (2016) estudaram a dinâmica de *P. brachyurus* em solo argiloso no estado de Mato Grosso e concluíram que o consórcio de milheto com *C. ochroleuca* foi eficiente na redução desse nematoide. Freire et al. (2017) também mencionaram sucesso ao cultivar crotalárias no sistema plantio direto para o manejo de *P. brachyurus*.

Quanto à densidade populacional de *P. brachyurus* na raiz da soja na safra 2017/2018, não verificou-se diferenças entre os sistemas de produção apenas quando aplicou-se 4,0 Mg ha⁻¹ de calcário (Tabela 14). Na dose zero e na menor dose de calcário (2,0 Mg ha⁻¹), o comportamento de resposta foi o mesmo constatado com *P. brachyurus* no solo, em que a rotação de culturas proporcionou menores densidades populacionais de *P. brachyurus* na raiz, confirmando novamente sua maior efetividade no manejo desse nematoide em condições de solo ácido quando comparada com o monocultivo de soja e a sucessão de soja-milheto safrinha. Na dose de 8,0 Mg ha⁻¹ de calcário, menor densidade de *P. brachyurus* na raiz foi identificada na sucessão de soja-milheto safrinha, demonstrando-se coerente com as constatações expostas por Ferrari et al. (2016) e Silva et al. (2019).

Na safra 2018/2019 não foi identificado presença de *P. brachyurus* no solo em nenhum dos sistemas de produção na dose de 8,0 Mg ha⁻¹ de calcário (Tabela 14). Na dose zero e nas doses de 2,0 e 4,0 Mg ha⁻¹, a sucessão de soja-milheto safrinha mostrou-se mais efetiva no manejo de *P. brachyurus* no solo, seguida da rotação de culturas. De modo geral, notou-se que a rotação de culturas reduziu sua eficiência no manejo de *P. brachyurus* no solo em comparação a safra anterior, o que se deve à *U. ruziziensis* cultivada na safrinha de 2018 nesse sistema de produção antecedendo a soja da safra 2018/2019, espécie que reproduz consideravelmente *P. brachyurus* (SILVA et al., 2019).

Na dose zero de calcário, a sucessão de soja-milheto safrinha e a rotação de culturas foram mais efetivas no manejo de *P. brachyurus* na raiz do que o monocultivo de soja na safra 2018/2019 (Tabela 14), corroborando com Ferrari et al. (2016) e Freire et al. (2017), uma vez que tais pesquisadores reportaram reduções nas populações de *P. brachyurus* em sistemas produtivos nos quais foram inseridos a *C. ochroleuca*. Nas doses de 2,0 e 4,0 Mg ha⁻¹ de calcário, obteve-se menores populações de *P. brachyurus* na sucessão de soja-milheto safrinha, seguida do monocultivo de soja e da rotação de culturas. Adicionalmente, para a dose de 8,0 Mg ha⁻¹ de calcário, não se detectou *P. brachyurus* na raiz sob a sucessão de soja-milheto safrinha, e entre monocultivo de soja e rotação de culturas não verificou-se diferença estatística. Os benefícios da sucessão de soja-milheto safrinha no manejo de *P. brachyurus* demonstraram-se mais uma vez em concordância com Silva et al. (2019).

Na sucessão de soja-milheto na safra 2017/2018, o aumento nas doses de calcário superficiais diminuiu linearmente a população de *P. brachyurus* no solo (Figura 12), sendo que para os demais sistemas de produção não houve ajuste de equação significativa. No monocultivo de soja e na rotação de culturas na safra 2018/2019, as modificações crescentes nas doses de calcário em superfície diminuíram linearmente as populações de *P. brachyurus* no solo, sendo que para a sucessão de soja-milheto safrinha não obteve-se ajuste de equação significativa. Esses resultados indicam que o manejo da acidez do solo via aplicação de calcário auxilia na redução da população e, consequentemente, dos danos de *P. brachyurus* na cultura da soja. Contudo, Franchini et al. (2014) destacaram que o manejo correto da acidez do solo não elimina a necessidade da adoção de outras estratégias para o controle de *P. brachyurus*, especialmente a sucessão e rotação da soja com culturas resistentes ou hospedeiras desfavoráveis ao nematoide.



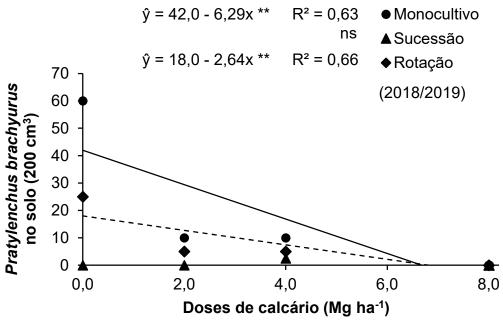


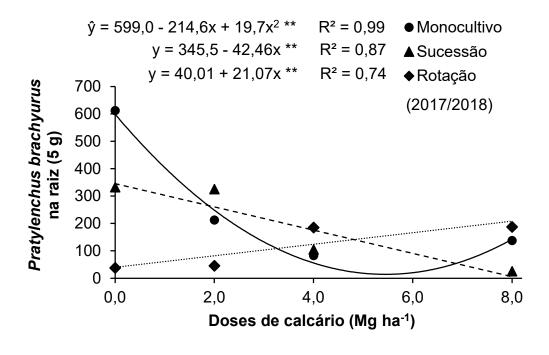
Figura 12. Pratylenchus brachyurus em amostras de solo coletadas no florescimento pleno da soja em três sistemas de produção sob diferentes doses de calcário dolomítico em superfície. Itiquira – MT, Brasil (safras 2017/2018 e 2018/2019). Teste F: ns – não significativo; ** – significativo a 1% de probabilidade.

A análise de regressão revelou equações significativas para os resultados de *P. brachyurus* na raiz nos três sistemas de produção estudados nas safras 2017/2018 e 2018/2019 (Figura 13). No monocultivo de soja na safra 2017/2018 obteve-se resposta quadrática negativa, em que o modelo ajustado permitiu estimar o valor de

14,7 P. brachyurus por 5 g de raiz como sendo a mínima densidade populacional obtida com a aplicação de 5,4 Mg ha-1 de calcário em superfície. A partir desta dose, portanto, ocorreu aumento substancial de P. brachyurus na raiz da soja. Isso demonstra que em sistema com pouca oferta de fitomassa, a correção química do solo, mediante elevação do pH em CaCl₂ do solo acima de 6,5 na camada de 0,0-0,1 m (Figura 4), favorece a multiplicação de *P. brachyurus* na raiz da soja. Na sucessão de soja-milheto safrinha ocorreu redução linear na densidade de *P. brachyurus* com o aumento das doses de calcário. Tais resultados corroboram com os obtidos por Franchini et al. (2014) na região Médio Norte de Mato Grosso, os quais concluíram que o aumento do pH em CaCl₂, dos teores de cálcio e magnésio, e da saturação por bases, obtidos com a prática da calagem em solo de textura média (254 g dm⁻³ de argila), diminuiu de forma potencial a densidade populacional de *P. brachyurus* na raiz da soja. O aumento da saturação por bases, de 10 para 50%, que é o valor de referência para as condições de Cerrado (EMBRAPA, 2013), proporcionou redução de quatro vezes na população deste nematoide na raiz (de 2.000 para 500 indivíduos por planta). Contudo, na rotação de culturas do presente trabalho, o aumento nas doses de calcário provocou aumento linear da população de P. brachyurus na raiz.

Na safra 2018/2019, no monocultivo de soja e na sucessão de soja-milheto safrinha, o aumento nas doses de calcário em superfície provocou diminuição linear das populações de *P. brachyurus* (Figura 13), concordando com Franchini et al. (2014). Porém, na rotação de culturas obteve-se resposta quadrática positiva, cujo modelo permitiu estimar o valor de 433,6 *P. brachyurus* por 5 g de raiz como sendo a máxima densidade populacional obtida com a aplicação de 3,5 Mg ha⁻¹ de calcário em superfície.

As razões que explicam o efeito supressivo decorrente do aumento do pH e da saturação por bases do solo sobre *P. brachyurus* necessitam ser estudadas. Uma hipótese é que a menor acidez do solo resulte em aumento da resistência das paredes celulares nas raízes, dificultando assim, a penetração, movimentação e alimentação deste nematoide. A redução da acidez do solo pode, ainda, favorecer grupos de microrganismos antagônicos ao nematoide, ou mesmo desfavorecer *P. brachyurus*. Outro aspecto é que a redução da acidez do solo promove maior desenvolvimento radicular e melhor nutrição da planta. Como consequência, ocorre maior tolerância da soja aos danos causados por *P. brachyurus* (FRANCHINI et al., 2014).



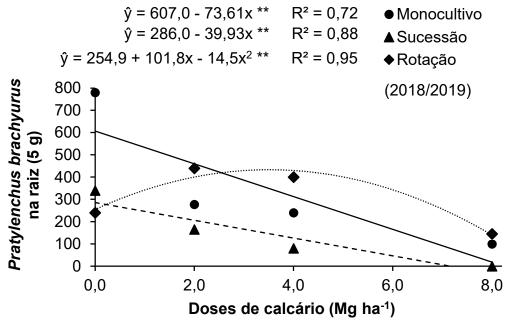


Figura 13. Pratylenchus brachyurus em amostras de raiz coletadas no florescimento pleno da soja em três sistemas de produção sob diferentes doses de calcário dolomítico em superfície. Itiquira – MT, Brasil (safras 2017/2018 e 2018/2019). Teste F: ** – significativo a 1% de probabilidade.

Na Tabela 15 estão inseridos o resumo da análise de variância e os valores médios de *R. reniformis* em amostras de solo e raiz da soja nas safras 2017/2018 e 2018/2019 nos três sistemas de produção sob diferentes doses de calcário dolomítico em superfície. Na safra 2017/2018, as populações de *R. reniformis* no solo e na raiz foram influenciadas, isoladamente, pelos sistemas de produção e pelas doses de

calcário e pela interação entre esses fatores de variação. Na safra 2018/2019, verificou-se somente interação entre sistemas de produção e doses de calcário para *R. reniformis* no solo e na raiz.

Tabela 15. Resumo da análise de variância e valores médios de *Rotylenchulus* reniformis em amostras de solo e raiz coletadas no florescimento pleno da soja em três sistemas de produção sob diferentes doses de calcário dolomítico em superfície. Itiquira – MT, Brasil (safras 2017/2018 e 2018/2019).

	Rotylenchulus reniformis ⁽²⁾				
Fator de variação	2017	/2018	2018/2	2019	
rator de variação	Solo	Raiz	Solo	Raiz	
	(200 cm ³)	(5 g)	(200 cm ³)	(5 g)	
Sistemas de produção (S) ⁽¹⁾					
Monocultivo	2.271,3	72,5	1.495,0	82,5	
Sucessão de culturas	1.547,5	15,0	1.402,5	55,0	
Rotação de culturas	1.485,6	10,6	1.250,6	41,9	
Doses de calcário (D)					
0,0 Mg ha ⁻¹	1.515,0	31,7	1.163,3	65,0	
2,0 Mg ha ⁻¹	2.012,5	18,3	1.426,7	60,0	
4,0 Mg ha ⁻¹	1.708,3	36,7	1.490,0	50,8	
8,0 Mg ha ⁻¹	1.836,7	44,2	1.450,8	63,3	
Média geral	1.768,1	32,7	1.382,7	59,8	
	Valores de F ⁽³⁾				
S	22,93 **	279,08 **	1,18 ns	4,43 ns	
D	4,54 *	8,61 **	1,91 ns	0,31 ns	
SxD	7,80 **	16,28 **	9,16 **	12,15 **	
CV parcela (%)	10,62	13,71	22,08	24,48	
CV subparcela (%)	10,80	18,37	17,98	27,01	

⁽¹⁾ Monocultivo (soja-pousio com aplicação de herbicida no período de entressafra); sucessão (soja-milheto safrinha); rotação (soja-crotalária safrinha / soja-braquiária safrinha / soja-milho safrinha).
(2) A comparação das médias foi realizada por meio da transformação dos resultados em √x+1;

Os desdobramentos da interação entre sistemas de produção e doses de calcário em superfície para as populações de *R. reniformis* no solo e na raiz da soja nas safras 2017/2018 e 2018/2019 estão inseridos na Tabela 16. Na dose zero de calcário, a rotação de culturas demonstrou-se mais efetiva no manejo de *R. reniformis* no solo na safra 2017/2018. Quando aplicado 2,0 Mg ha-1 de calcário, tanto a sucessão de soja-milheto safrinha quanto a rotação de culturas mostraram-se mais efetivas no manejo de *R. reniformis* no solo do que o sistema sob monocultivo de soja. Nas doses de 4,0 e 8,0 Mg ha-1 de calcário em superfície, a sucessão de soja-milheto safrinha resultou menor densidade populacional de *R. reniformis* no solo, mas sem

⁽³⁾ Teste F: ns – não significativo; ** e * – significativo a 1% e a 5% de probabilidade, respectivamente; CV – coeficiente de variação experimental.

diferir estatisticamente da rotação de culturas na dose de 4,0 Mg ha⁻¹. Leandro & Asmus (2012b) também constataram reduções significativas das populações de *R. reniformis* no solo em parcelas cultivadas com *U. ruziziensis* e *C. ochroleuca* em comparação as parcelas que receberam soja. Os pesquisadores enfatizaram que o cultivo de braquiária ou crotalária, em rotação com a soja, pode constituir-se em estratégia de manejo de *R. reniformis* em áreas infestadas. Num estudo de campo por três anos, Asmus & Richetti (2010) concluíram que a rotação anual ou bianual de algodão com milho, *U. ruziziensis* ou soja resistente permitiu a redução da densidade populacional de *R. reniformis* no solo, cuja infestação natural era considerada alta.

Tabela 16. Rotylenchulus reniformis em amostras de solo e raiz coletadas no florescimento pleno da soja em três sistemas de produção sob diferentes doses de calcário dolomítico em superfície. Itiquira – MT, Brasil (safras 2017/2018 e 2018/2019).

Safra 2017/2018						
Sistemas de	Doses de calcário (Mg ha ⁻¹)					
produção ⁽¹⁾	0,0	2,0	4,0	8,0		
	Rotylen	chulus renifor	mis no solo (20)0 cm³) ⁽²⁾		
Monocultivo	1.990,0 a	2.640,0 a	2.017,5 a	2.437,5 a		
Sucessão de culturas	1.882,5 a	1.860,0 b	1.277,5 b	1.170,0 b		
Rotação de culturas	672,5 b	1.537,5 b	1.830,0 ab	1.902,5 a		
	Rotyl	enchulus reni	iformis na raiz (5 g) ⁽²⁾		
Monocultivo	72,5 a	30,0 a	85,0 a	102,5 a		
Sucessão de culturas	22,5 b	17,5 ab	2,5 c	17,5 b		
Rotação de culturas	0,0 c	7,5 b	22,5 b	12,5 b		
	Safra	a 2018/2019				
	Rotylen	chulus renifor	mis no solo (20	00 cm ³) ⁽²⁾		
Monocultivo	1.930,0 a		1.410,0 a			
Sucessão de culturas	1.090,0 b	1.400,0 ab	1.340,0 a	1.780,0 a		
Rotação de culturas	470,0 b	880,0 b	1.720,0 a	1.932,5 a		
	Rotylenchulus reniformis na raiz (5 g) ⁽²⁾					
Monocultivo	120,0 a			20,0 b		
Sucessão de culturas	30,0 b	20,0 b	40,0 a	130,0 a		
Rotação de culturas	45,0 b	40,0 b	42,5 a	40,0 b		

Médias seguidas por mesma letra nas colunas não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade; ⁽¹⁾ Monocultivo (soja-pousio com aplicação de herbicida no período de entressafra); sucessão (soja-milheto safrinha); rotação (soja-crotalária safrinha / soja-braquiária safrinha / soja-milho safrinha). ⁽²⁾ A comparação das médias foi realizada por meio da transformação dos resultados em √x+1.

Em todas as doses de calcário, a sucessão de soja-milheto safrinha e a rotação de culturas apresentaram-se mais eficientes no manejo de *R. reniformis* na raiz da soja na safra 2017/2018, do que o monocultivo de soja (Tabela 16). Leandro & Asmus (2015), avaliando sucessão e rotação de culturas para o manejo de *R. reniformis* em

área de produção de soja, concluíram que a rotação com *C. ochroleuca* propiciou redução da densidade populacional deste nematoide em comparação ao monocultivo de soja. Somente quando aplicou-se 2,0 Mg ha⁻¹ de calcário não obteve-se superioridade estatística da sucessão de soja-milheto safrinha sobre o monocultivo de soja. Em âmbito geral, as menores populações de *R. reniformis* na sucessão de soja-milheto safrinha e na rotação de culturas ocorreram devido à introdução de culturas não hospedeiras, como o milheto, a *U. ruziziensis* e a *C. ochroleuca*, o que também foi observado em outros trabalhos. As crotalárias são capazes de produzirem compostos com potencial nematicida, como a monocrotalina (WANG et al., 2002) e provocarem alelopatia ou aumento da população de fungos predadores que podem reduzir as populações dos nematoides (INOMOTO & ASMUS, 2014).

Analisando por outro lado, o monocultivo de soja favoreceu expressivamente o aumento da população de *R. reniformis*, tanto no solo quanto na raiz na safra 2017/2018 (Tabela 16). Sereia et al. (2007) avaliaram em condições de campo diferentes sistemas de produção e verificaram que o monocultivo de soja favoreceu, significativamente, o aumento da população de *R. reniformis* no solo, corroborando com os resultados do presente estudo. Este fato demonstra claramente que o monocultivo pode favorecer alguns grupos de nematoides.

Na safra 2018/2019, na dose zero de calcário, a sucessão de soja-milheto safrinha e a rotação de culturas proporcionaram menores populações de *R. reniformis* no solo e na raiz (Tabela 16). Na dose de 2,0 Mg ha-1, a rotação de culturas continuou suprimindo *R. reniformis* no solo, mas, sem diferir estatisticamente da sucessão de soja-milheto safrinha. Na dose de 8,0 Mg ha-1, o monocultivo de soja passou a apresentar-se mais efetivo no manejo de *R. reniformis* no solo em comparação a sucessão de soja-milheto safrinha e a rotação de culturas. Na dose de 2,0 Mg ha-1, tanto a sucessão de soja-milheto safrinha quanto a rotação de culturas mostraram-se eficientes no manejo de *R. reniformis* na raiz. Logo, mediante 8,0 Mg ha-1, as menores densidades populacionais de *R. reniformis* na raiz foram constatadas no monocultivo de soja e na rotação de culturas. No caso da rotação de culturas, essa resposta possivelmente é atribuída à introdução da *C. ochroleuca* e os efeitos por ela proporcionados, como destacados por Wang et al. (2002) e Inomoto & Asmus (2014).

Na sucessão de soja-milheto safrinha em 2017/2018, as alterações crescentes nas doses de calcário diminuíram linearmente as populações de *R. reniformis* no solo (Figura 14). Na rotação de culturas houve aumento linear das populações de *R.*

reniformis em ambas as safras com o incremento nas doses de calcário. No monocultivo de soja na safra 2018/2019, os acréscimos das doses de calcário provocaram diminuição linear das populações de *R. reniformis* no solo. É possível considerar, portanto, que em monocultivo de soja e cultivo sucessivo de soja-milheto safrinha, a correção química na camada de 0,0-0,1 m do solo favoreceu o manejo de *R. reniformis*, ao passo que na rotação de culturas, a correção nessa camada estimulou sua multiplicação.

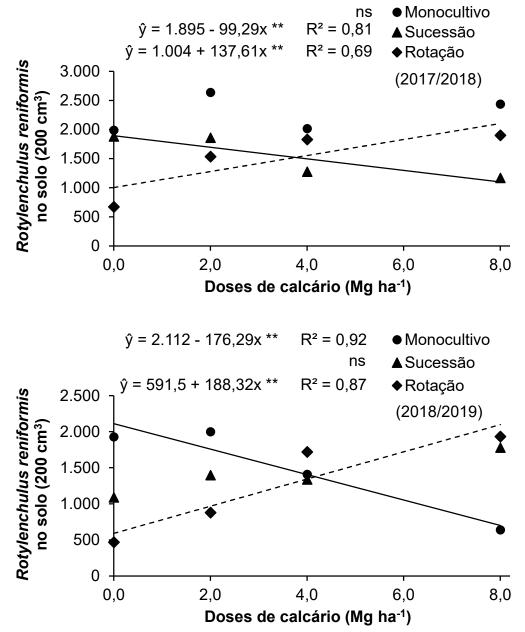


Figura 14. Rotylenchulus reniformis em amostras de solo coletadas no florescimento pleno da soja em três sistemas de produção sob diferentes doses de calcário dolomítico em superfície. Itiquira – MT, Brasil (safras 2017/2018 e 2018/2019). Teste F: ns – não significativo; ** – significativo a 1% de probabilidade.

A análise de regressão apontou equações significativas para os resultados de *R. reniformis* na raiz da soja nos três sistemas de produção durante a safra 2017/2018 (Figura 15). No monocultivo de soja ocorreu incremento linear na densidade de *R. reniformis* com o aumento das doses de calcário. Isso demonstra que em sistema com pouco aporte de fitomassa, a correção química na camada de 0,0-0,1 m do solo favorece a multiplicação de *R. reniformis* na raiz. Na sucessão de soja-milheto safrinha obteve-se resposta quadrática negativa, cujo modelo permitiu estimar o valor de 6,3 *R. reniformis* por 5 g de raiz como sendo a mínima densidade populacional obtida com a aplicação de 4,5 Mg ha-1 de calcário. Porém, sob rotação de culturas, houve comportamento quadrático positivo em resposta às doses de calcário, em que o modelo permitiu afirmar o valor de 23,2 de *R. reniformis* por 5 g de raiz como sendo a máxima densidade populacional alcançada com a aplicação de 5,06 Mg ha-1 de calcário.

Na raiz da soja durante a safra 2018/2019, as populações de *R. reniformis* sob rotação de culturas não tiveram ajuste de equação significativa em detrimento das doses de calcário aplicadas em superfície (Figura 15). Porém, no monocultivo de soja, o aumento das doses de calcário proporcionou redução linear de *R. reniformis* na raiz, assim como verificado no solo. Sob sucessão de soja-milheto safrinha, a resposta foi contrária, onde o aumento das doses de calcário em superfície incrementou linearmente as populações de *R. reniformis* na raiz.

Há de se mencionar, por fim, que são escassos os registros na literatura brasileira evidenciando alterações nas populações de *R. reniformis* no solo e na raiz da soja em detrimento de alterações nos atributos químicos do solo, sobretudo com pH em CaCl₂, teores de cálcio e magnésio e saturações por bases e por alumínio tóxico, promovidas com a prática da calagem em superfície.

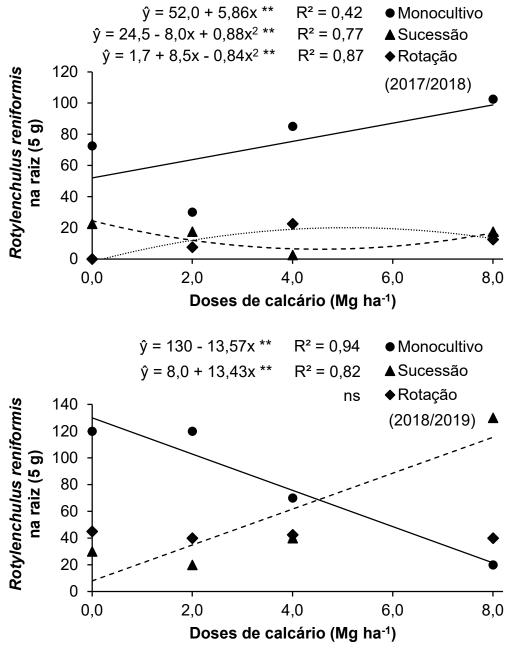


Figura 15. Rotylenchulus reniformis em amostras de raiz coletadas no florescimento pleno da soja em três sistemas de produção sob diferentes doses de calcário dolomítico em superfície. Itiquira – MT, Brasil (safras 2017/2018 e 2018/2019). Teste F: ns – não significativo; ** – significativo a 1% de probabilidade.

O resumo da análise de variância e os valores médios de populações de Helicotylenchus spp. em amostras de solo e raiz da soja nas safras 2017/2018 e 2018/2019 nos três sistemas de produção sob diferentes doses de calcário dolomítico em superfície estão apresentados na Tabela 17. As populações desse nematoide, tanto no solo quanto na raiz, em ambas as safras, foram influenciadas pelos sistemas de produção e doses de calcário e pela interação entre esses fatores de variação.

Tabela 17. Resumo da análise de variância e valores médios de *Helicotylenchus* spp. em amostras de solo e raiz coletadas no florescimento pleno da soja em três sistemas de produção sob diferentes doses de calcário dolomítico em superfície. Itiquira – MT, Brasil (safras 2017/2018 e 2018/2019).

	Helicotylenchus spp. ⁽²⁾				
Fator de variação	2017	/2018	2018	/2019	
i ator de variação	Solo	Raiz	Solo	Raiz	
	(200 cm ³)	(5 g)	(200 cm ³)	(5 g)	
Sistemas de produção (S) ⁽¹⁾				_	
Monocultivo	0,0	0,0	0,0	0,0	
Sucessão de culturas	41,3	6,3	0,0	0,0	
Rotação de culturas	295,0	33,1	98,1	16,9	
Doses de calcário (D)				_	
0,0 Mg ha ⁻¹	345,0	38,3	97,5	10,0	
2,0 Mg ha ⁻¹	52,5	8,3	26,7	7,9	
4,0 Mg ha ⁻¹	28,3	2,5	3,3	4,6	
8,0 Mg ha ⁻¹	22,5	3,3	3,3	0,0	
Média geral	112,1	13,1	32,7	5,6	
	Valores de F ⁽³⁾				
S	29,13 **	156,49 **	37,08 **	181,36 **	
D	86,34 **	56,22 **	44,39 **	34,66 **	
SxD	30,81 **	29,01 **	44,39 **	34,66 **	
CV parcela (%)	74,84	23,13	78,27	24,87	
CV subparcela (%)	30,06	26,23	37,10	20,25	

⁽¹⁾ Monocultivo (soja-pousio com aplicação de herbicida no período de entressafra); sucessão (soja-milheto safrinha); rotação (soja-crotalária safrinha / soja-braquiária safrinha / soja-milho safrinha).

Os desdobramentos da interação entre sistemas de produção e doses de calcário em superfície para as populações de *Helicotylenchus* spp. no solo e na raiz da soja nas safras 2017/2018 e 2018/2019 estão expostos na Tabela 18. Em todas as doses de calcário, a rotação de culturas foi considerada o pior sistema de produção por favorecer de maneira expressiva a multiplicação desse nematoide no solo e na raiz em ambas as safras. Uma hipótese é que na rotação de culturas, independente da condição de correção da acidez na camada de 0,0-0,1 m do solo, o sistema plantio direto pode ter favorecido a multiplicação de *Helicotylenchus* spp. pela redução de sua exposição às altas temperaturas e pela maior disponibilidade de alimento. Por sua vez, não verificou-se presença de *Helicotylenchus* spp. no solo e na raiz da soja sob monocultivo em nenhuma das doses de calcário, possivelmente devido a sua exposição às altas temperaturas e pela menor disponibilidade de alimento.

⁽²⁾ A comparação das médias foi realizada por meio da transformação dos resultados em √x+1;

⁽³⁾ Teste F: ** – significativo a 1% de probabilidade;

CV – coeficiente de variação experimental.

Tabela 18. Helicotylenchus spp. em amostras de solo e raiz coletadas no florescimento pleno da soja em três sistemas de produção sob diferentes doses de calcário dolomítico em superfície. Itiquira – MT, Brasil (safras 2017/2018 e 2018/2019).

,	Safra	2017/2018				
Sistemas de	Doses de calcário (Mg ha ⁻¹)					
produção ⁽¹⁾	0,0	2,0	4,0	8,0		
	<i>Helicotylenchus</i> spp. no solo (200 cm ³) ⁽²⁾					
Monocultivo	0,0 c	0,0 c	0,0 b	0,0 b		
Sucessão de culturas	142,5 b	20,0 b	2,5 b	0,0 b		
Rotação de culturas	892,5 a	137,5 a	82,5 a	67,5 a		
	Heli	icotylenchus	spp. na raiz (5 g)	(2)		
Monocultivo	0,0 c	0,0 b	0,0 b	0,0 b		
Sucessão de culturas	12,5 b	12,5 a	0,0 b	0,0 b		
Rotação de culturas	102,5 a	12,5 a	7,5 a	10,0 a		
	Safra	2018/2019				
	Helicot	ylenchus spp	o. no solo (200 cm	າ ³) ⁽²⁾		
Monocultivo	0,0 b	0,0 b	0,0 a	0,0 a		
Sucessão de culturas	0,0 b	0,0 b	0,0 a	0,0 a		
Rotação de culturas	292,5 a	80,0 a	10,0 a	10,0 a		
	<i>Helicotylenchus</i> spp. na raiz (5 g) ⁽²⁾					
Monocultivo	0,0 b	0,0 b	0,0 b	0,0 a		
Sucessão de culturas	0,0 b	0,0 b	0,0 b	0,0 a		
Rotação de culturas	30,0 a	23,7 a	13,7 a	0,0 a		

Médias seguidas por mesma letra nas colunas não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade; ⁽¹⁾ Monocultivo (soja-pousio com aplicação de herbicida no período de entressafra); sucessão (soja-milheto safrinha); rotação (soja-crotalária safrinha / soja-braquiária safrinha / soja-milho safrinha). ⁽²⁾ A comparação das médias foi realizada por meio da transformação dos resultados em √x+1.

Há de se considerar, também, que as maiores densidades populacionais de *Helicotylenchus* spp. no solo e na raiz da soja, constatadas na rotação de culturas, provavelmente devem-se a sua multiplicação favorecida pela *C. ochroleuca*, espécie que compôs esse sistema de produção e que foi cultivada na safrinha de 2017, antecedendo assim, a soja da safra 2017/2018. Esta hipótese é baseada no fato de que na safra 2017/2018 as populações desse nematoide foram, substancialmente, maiores que as encontradas na safra 2018/2019 (Tabela 18), ocasião em que a soja não foi cultivada após a *C. ochroleuca*.

Outra hipótese que pode justificar as maiores populações de *Helicotylenchus* spp. na rotação de culturas é a inserção do milho safrinha neste sistema de produção. De acordo com Inomoto (2010), *Helicotylenchus* spp. vêm apresentando altos níveis associados à cultura do milho, principalmente nas condições do Brasil Central, mas não há provas de que esta espécie provoque perdas na produtividade de grãos da cultura. Num levantamento da incidência de *Helicotylenchus* spp. em análises

laboratoriais provenientes de amostras oriundas de diversos municípios de Mato Grosso (1.611 resultados de análises de solo e raiz, entre os anos de 2008 e 2011), Garbin & Costa (2015) concluíram que este nematoide está associado à maioria das análises de solo realizadas, devendo-se dar maior importância a estudos de danos e perdas associadas, principalmente no milho e algodão.

A análise de regressão de doses apontou ajustes de equações significativas na sucessão de soja-milheto safrinha e na rotação de culturas para as populações de *Helicotylenchus* spp. no solo e na raiz da soja (Figura 16) na safra 2017/2018. Em ambos os sistemas de produção houveram reduções lineares nas populações de *Helicotylenchus* spp. no solo e na raiz com o incremento das doses de calcário em superfície. Estes resultados indicam, portanto, que sob sistemas diversificados de produção agrícola, seja através da sucessão ou rotação de culturas, a calagem constitui-se em uma prática eficiente para o manejo deste nematoide.

No Brasil não há estudos demonstrando interações de Helicotylenchus spp. com as alterações dos atributos químicos do solo, obtidas com a aplicação de calcário. Logo, é possível levantar hipóteses para compreender as reduções populacionais desse nematoide provocadas pela adição de calcário. Uma delas é que pode ter ocorrido maior absorção de cálcio. Entre as funções do cálcio na planta, uma delas é estrutural, na qual ele se liga a grupos ácidos de lipídeos da membrana e a ligações cruzadas entre pectinas, em particular na lamela média da parede celular que separa células recentemente divididas (TAIZ & ZEIGER, 2017). O cálcio complementa a função do potássio na manutenção da organização celular, hidratação e permeabilidade. Muitos agentes fitopatogênicos alcançam o tecido da planta pela produção de enzimas pectolíticas extracelulares, como a galacturonase, que degradam a lamela média. Porém, a atividade desta enzima é inibida pela presença do cálcio (MARSCHNER, 1995). Considerando estes aspectos, é possível que o aumento no fornecimento de cálcio e absorção desse elemento pelas plantas de soja, através de doses crescentes de calcário, tenha aumentado a resistência das células, resultando em menor infecção de *Helicotylenchus* spp. na raiz. Esta hipótese também foi levantada por Rocha et al. (2006), contudo, para a dinâmica populacional de H. glycines.

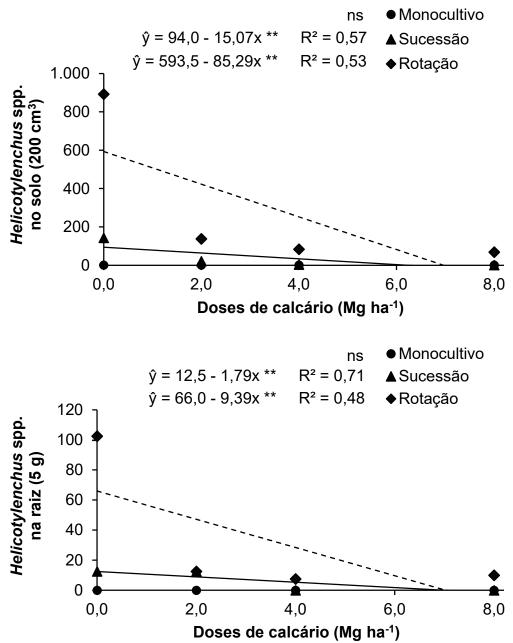


Figura 16. Helicotylenchus spp. em amostras de solo e raiz coletadas no florescimento pleno da soja em três sistemas de produção sob diferentes doses de calcário dolomítico em superfície. Itiquira – MT, Brasil (safra 2017/2018). Teste F: ns – não significativo; ** – significativo a 1% de probabilidade.

A análise de regressão apontou equações significativas somente sob a rotação de culturas para as populações de *Helicotylenchus* spp. no solo e na raiz da soja (Figura 17) na safra 2018/2019 em resposta as doses de calcário. Tanto no solo quanto na raiz, houve reduções lineares nas populações de *Helicotylenchus* spp. com o aumento das doses de calcário, indicando outra vez que em sistemas diversificados, a calagem é uma prática eficaz no manejo desse nematoide.

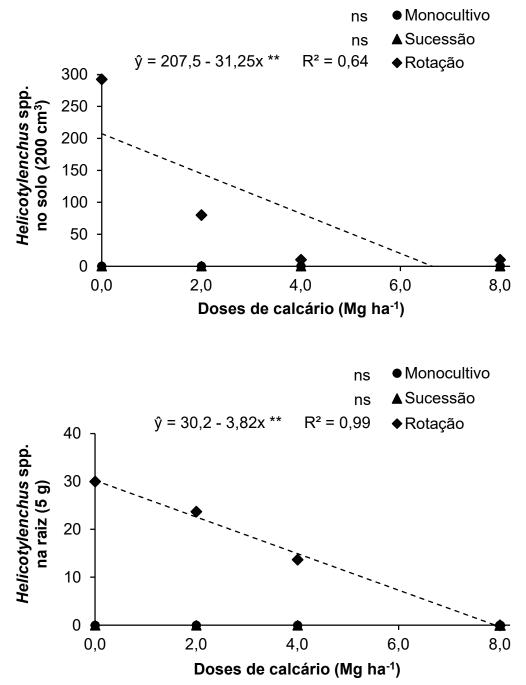


Figura 17. Helicotylenchus spp. em amostras de solo e raiz coletadas no florescimento pleno da soja em três sistemas de produção sob diferentes doses de calcário dolomítico em superfície. Itiquira – MT, Brasil (safra 2018/2019). Teste F: ns – não significativo; ** – significativo a 1% de probabilidade.

Apesar de as espécies de *Helicotylenchus* spp. não apresentam capacidade de penetrar nas raízes das plantas (SILVA et al., 2019), estudos realizados pelo Instituto Agronômico do Paraná (IAPAR) em casa de vegetação apontam que estes nematoides podem ser considerados como potenciais patógenos para a soja e outras culturas que compõem os sistemas de produção. As pesquisas do IAPAR mostraram

que as espécies de *Helicotylenchus* spp. conseguem penetrar nas raízes da soja, provocando lesões semelhantes àquelas causadas por *P. brachyurus*. *Helicotylenchus* spp. também causaram os mesmos sintomas em raízes de milheto, cv. ADR 300, sugerindo que este nematoide possa estar, facultativamente, comportando-se como endoparasita migrador nestas culturas. Contudo, os resultados do presente trabalho não comprovaram o potencial patogênico de *Helicotylenchus* spp. no monocultivo de soja e na sucessão de soja-milheto safrinha.

Na Tabela 19 estão expostos o resumo da análise de variância e os valores médios de H. glycines em amostras de solo e raiz da soja nas safras 2017/2018 e 2018/2019 nos três sistemas de produção sob diferentes doses de calcário dolomítico em superfície. Nas duas safras avaliadas, as populações do referido nematoide no solo foram influenciadas, isoladamente, pelos sistemas de produção e pelas doses de calcário, não se constatando interação significativa entre os fatores de variação. A rotação de culturas reduziu de forma eficaz a população de H. glycines no solo em ambas as safras, apesar de que em 2017/2018, tal redução não foi suficiente ao ponto de se diferenciar estatisticamente da sucessão de soja-milheto safrinha. Tais resultados comprovam as recomendações de Silva et al. (2019), ao mencionarem que a sustentabilidade do cultivo de soja em áreas infestadas com H. glycines deve ser baseada na rotação de culturas. Este manejo, segundo os pesquisadores, apresenta maior eficiência quando se agrega o máximo possível de fitomassa ao sistema de produção, pois a matéria orgânica favorece o desenvolvimento de microrganismos que capazes de parasitarem ovos e cistos de *H. glycines* no solo. Estudando o efeito da sucessão e rotação de culturas em condições de campo no estado de Mato Grosso, Silva et al. (2018) observaram redução na população de *H. glycines* nas parcelas cultivadas com C. ochroleuca, corroborando com as constatações do presente trabalho.

Com a mudança nos sistemas de produção, mediante a adição de culturas de cobertura, são encontradas no solo várias espécies de fungos que atacam os cistos, diminuindo a sobrevivência desses. Em áreas infestadas por *H. glycines*, a manutenção do pH do solo na faixa de 4,5 a 5,5, ou então, a saturação por bases na faixa de 35 a 50%, garante maior atividade dos fungos que atacam os cistos de *H. glycines*. Outro efeito benéfico do pH na referida faixa refere-se ao aumento da disponibilidade de manganês e ferro, uma vez que plantas de soja, quando infectadas por *H. glycines*, apresentam deficiência desses micronutrientes (SILVA et al., 2019).

Tabela 19. Resumo da análise de variância e valores médios de *Heterodera glycines* em amostras de solo e raiz coletadas no florescimento pleno da soja em três sistemas de produção sob diferentes doses de calcário dolomítico em superfície. Itiquira – MT, Brasil (safras 2017/2018 e 2018/2019).

	Heterodera glycines ⁽²⁾				
Estar da variação	2017/	2018	2018/	2019	
Fator de variação	Solo	Raiz	Solo	Raiz	
	(200 cm ³)	(5 g)	(200 cm ³)	(5 g)	
Sistemas de produção (S) ⁽¹⁾					
Monocultivo	1.136,3 a	405,6	2.245,0 a	329,4 a	
Sucessão de culturas	1.007,5 ab	72,5	1.660,6 a	111,3 b	
Rotação de culturas	529,4 b	24,3	700,0 b	77,5 b	
Doses de calcário (D)					
0,0 Mg ha ⁻¹	184,2	21,7	250,8	28,3	
2,0 Mg ha ⁻¹	252,5	15,8	1.165,0	131,7	
4,0 Mg ha ⁻¹	1.220,8	214,2	2.085,0	216,7	
_ 8,0 Mg ha ⁻¹	1.906,7	418,3	2.640,0	314,2	
Média geral	891,0	167,5	1.535,2	172,7	
	Valores de F ⁽³⁾				
S	21,54 **	209,18 **	17,52 **	137,89 **	
D	59,96 **	57,28 **	19,54 **	45,64 **	
SxD	1,34 ns	9,17_**	0,97 ns	1,51_ns_	
CV parcela (%)	26,77	20,12	40,34	15,61	
CV subparcela (%)	27,86	34,53	35,40	25,11	

Médias seguidas por mesma letra nas colunas não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade; ⁽¹⁾ Monocultivo (soja-pousio com aplicação de herbicida no período de entressafra); sucessão (soja-milheto safrinha); rotação (soja-crotalária safrinha / soja-braquiária safrinha / soja-milho safrinha).

O aumento das doses de calcário proporcionou incremento linear na população de *H. glycines* no solo durante a safra 2017/2018 (Figura 18), sugerindo que a prática da calagem superficial deve ser definida com critérios a fim de não provocar desequilíbrios no solo, o que culmina em aumento dos problemas com esse nematoide. Estes resultados, entretanto, contrariam os obtidos com as populações de *P. brachyurus* (Figura 12) e de *Helicotylenchus* spp. no solo (Figura 16) sob rotação de culturas na safra 2018/2019, indicando que a faixa de pH ideal para a multiplicação entre esses nematoides e *H. glycines* é distinta. A correção da acidez do solo mostrase importante sobre a dinâmica populacional de nematoides, ainda que seu efeito provável seja indireto, uma vez que vários fungos predadores de nematoides são dependentes do pH do solo.

⁽²⁾ A comparação das médias foi realizada por meio da transformação dos resultados em √x+1;

⁽³⁾ Teste F: ns – não significativo; ** – significativo a 1% de probabilidade;

CV – coeficiente de variação experimental.

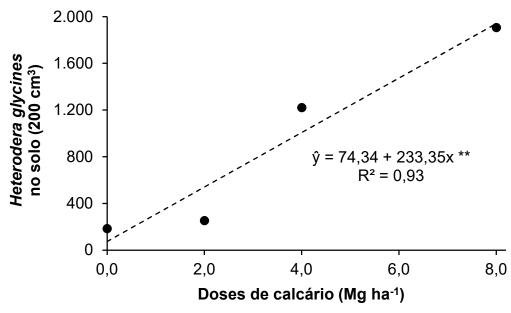


Figura 18. Heterodera glycines em amostras de solo coletadas no florescimento pleno da soja em resposta às doses de calcário dolomítico em superfície. Itiquira – MT, Brasil (safra 2017/2018). Teste F: ** – significativo a 1% de probabilidade.

Na raiz da soja, as populações de *H. glycines* foram influenciadas isoladamente pelos sistemas de produção e pelas doses de calcário e pela interação entre esses fatores de variação na safra 2017/2018 e isoladamente pelos sistemas de produção e pelas doses de calcário na safra 2018/2019 (Tabela 19). O desdobramento de tal interação está inserido na Tabela 20. Nas doses zero e 4,0 e 8,0 Mg ha⁻¹, a sucessão de soja-milheto safrinha e a rotação de culturas foram unânimes em reduzir as populações de *H. glycines* na raiz comparativamente ao monocultivo de soja, corroborando com os resultados de Silva et al. (2018) e com as recomendações de Silva et al. (2019).

Tabela 20. Heterodera glycines em amostras de raiz coletadas no florescimento pleno da soja em três sistemas de produção sob diferentes doses de calcário dolomítico em superfície. Itiquira – MT, Brasil (safra 2017/2018).

		,		- /		
Sistemas de	Doses de calcário (Mg ha ⁻¹)					
produção ⁽¹⁾	0,0	2,0	4,0	8,0		
	Не	terodera glyci	nes na raiz (5 g)	(2)		
Monocultivo	57,5 a	35,0 a	532,5 a	997,5 a		
Sucessão de cultura	7,5 b	12,5 a	67,5 b	202,5 b		
Rotação de culturas	0,0 b	0,0 a	42,5 b	55,0 c		

Médias seguidas por mesma letra nas colunas não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade; (1) Monocultivo (soja-pousio com aplicação de herbicida no período de entressafra); sucessão (soja-milheto safrinha); rotação (soja-crotalária safrinha / soja-braquiária safrinha / soja-milho safrinha).

⁽²⁾ A comparação das médias foi realizada por meio da transformação dos resultados em √x+1.

Na safra 2018/2019 a sucessão de soja-milheto safrinha e a rotação de culturas foram unânimes em reduzir eficazmente as populações de *H. glycines* na raiz (Tabela 19), concordando novamente com os resultados encontrados por Silva et al. (2018). É muito provável que esses sistemas de produção, por terem maior diversidade de culturas, maior aporte de fitomassa e maior teor de matéria orgânica do solo (Tabela 7), podem ter favorecido a colonização e multiplicação de várias espécies de bactérias e fungos nematófagos que atacam os cistos de *H. glycines*, diminuindo sua sobrevivência, como afirmaram Almeida (2008) e Silva et al. (2019).

Nos três sistemas de produção na safra 2017/2018 houve incrementos lineares nas populações de *H. glycines* na raiz da soja em resposta às doses de calcário (Figura 19). No monocultivo de soja, o aumento de *H. glycines* na raiz foi mais acentuado do que nos demais sistemas de produção, os quais tiveram essa resposta atenuada pela maior oferta de fitomassa. Esses resultados são justificáveis pelo fato de os menores valores de pH do solo na dose zero de calcário garantirem maior atividade dos fungos que atacam os cistos de *H. glycines*, como mencionado por Silva et al. (2019) e uma melhor nutrição de manganês, zinco e ferro. Rocha et al. (2006) avaliaram calcário em soja cultivada em casa de vegetação e verificaram que a partir da dose de 3,03 Mg ha-1 houve aumento na população de fêmeas de *H. glycines* na raiz, o que corrobora em parte, com os resultados do presente trabalho.

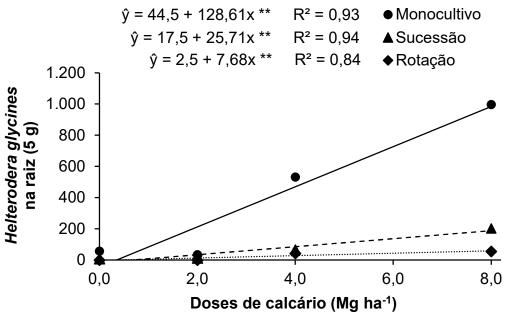


Figura 19. Heterodera glycines em amostras de raiz coletadas no florescimento pleno da soja em três sistemas de produção sob diferentes doses de calcário dolomítico em superfície. Itiquira – MT, Brasil (safra 2017/2018). Teste F: ** – significativo a 1% de probabilidade.

Na safra 2018/2019, as crescentes doses de calcário proporcionaram incrementos lineares nas populações de *H. glycines* tanto no solo quanto na raiz da soja (Figura 20), ratificando a importância em se estabelecer critérios na definição da dose da calagem superficial a fim de não provocar desequilíbrios no solo. Logo, percebe-se que no solo, o aumento de *H. glycines* foi mais acentuado do que na raiz.

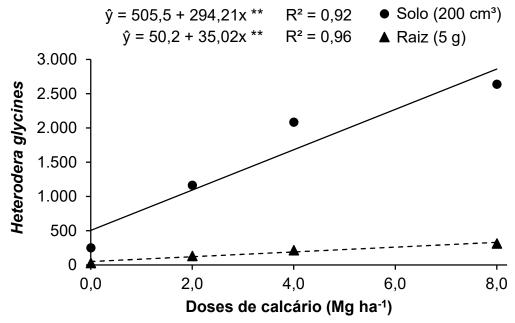


Figura 20. Heterodera glycines em amostras de solo e raiz coletadas no florescimento pleno da soja em resposta às doses de calcário dolomítico em superfície. Itiquira – MT, Brasil (safra 2018/2019). Teste F: ** – significativo a 1% de probabilidade.

É importante frisar que a cultivar utilizada no experimento (BMX Desafio RR) é considerada suscetível ao *H. glycines* (BRASMAX, 2017). Assim, é provável que o uso de cultivares tolerantes e/ou resistentes à *H. glycines*, os resultados poderão ser distintos aos aqui revelados. Silva et al. (2019) orientam que devido ao *H. glycines* possuir ampla variabilidade genética, o uso contínuo de cultivares resistentes na mesma área leva à pressão de seleção e novas raças podem ser selecionadas. Com isso, o produtor precisa sempre monitorar a raça presente na área.

O resumo da análise de variância e os valores médios de cistos viáveis e inviáveis de *H. glycines* em amostras de solo nas safras 2017/2018 e 2018/2019 nos três sistemas de produção sob diferentes doses de calcário dolomítico em superfície constam na Tabela 21. As quantidades desse nematoide, tanto no solo quanto na raiz, em ambas as safras, foram influenciadas isoladamente pelos sistemas de produção e pelas doses de calcário e pela interação entre esses fatores de variação.

Tabela 21. Resumo da análise de variância e valores médios de cistos viáveis e inviáveis de *Heterodera glycines* em amostras de solo coletadas no florescimento pleno da soja em três sistemas de produção sob diferentes doses de calcário dolomítico em superfície. Itiquira – MT, Brasil (safras 2017/2018 e 2018/2019).

2011/2010 0 2010/2	Cistos de <i>Heterodera glycin</i> es no solo ⁽²⁾				
Estar da variação	2017	7/2018	2018/	/2019	
Fator de variação	Viáveis	Inviáveis	Viáveis	Inviáveis	
		100	cm ³		
Sistemas de produção (S) ⁽¹⁾				_	
Monocultivo	51,6	84,3	31,8	49,0	
Sucessão de culturas	51,9	47,5	12,3	46,5	
Rotação de culturas	18,8	12,0	2,1	6,4	
Doses de calcário (D)				_	
0,0 Mg ha ⁻¹	6,1	5,5	1,3	3,7	
2,0 Mg ha ⁻¹	9,3	20,3	12,1	22,7	
4,0 Mg ha ⁻¹	54,0	45,3	18,5	45,9	
8,0 Mg ha ⁻¹	93,8	120,6	29,7	63,6	
Média geral	40,8	47,9	15,4	33,9	
	Valores de F ⁽³⁾				
S	42,27 **	45,24 **	62,37 **	40,48 **	
D	167,37 **	203,13 **	24,24 **	33,28 **	
SxD	4,58 **	9,31 **	3,32 *	4,77 **	
CV parcela (%)	18,50	28,49	28,31	30,97	
CV subparcela (%)	16,77	15,29	32,86	29,69	

⁽¹⁾ Monocultivo (soja-pousio com aplicação de herbicida no período de entressafra); sucessão (soja-milheto safrinha); rotação (soja-crotalária safrinha / soja-braquiária safrinha / soja-milho safrinha).

Na Tabela 22 são apresentados os desdobramentos da interação entre sistemas de produção e doses de calcário para cistos viáveis e inviáveis de *H. glycines* no solo nas safras 2017/2018 e 2018/2019. Na dose zero e na dose de 2,0 Mg ha⁻¹, a sucessão de soja-milheto safrinha e a rotação de culturas propiciaram menores quantidades de cistos viáveis e inviáveis na safra 2017/2018. Nas demais doses (4,0 e 8,0 Mg ha⁻¹), a rotação de culturas mostrou-se mais eficaz, corroborando com os obtidos por Silva et al. (2018) e com as recomendações de Silva et al. (2019). A maior eficácia da sucessão de soja-milheto safrinha e da rotação de culturas na redução de cistos de *H. glycines*, comparativamente ao monocultivo de soja, é justificada pela maior diversidade e aporte de fitomassa e elevação do teor de matéria orgânica do solo (Tabela 7), estimulando a colonização e multiplicação de bactérias e fungos nematófagos que predam esse nematoide (ALMEIDA, 2008).

⁽²⁾ A comparação das médias foi realizada por meio da transformação dos resultados em √x+1;

⁽³⁾ Teste F: ** e * – significativo a 1% e a 5% de probabilidade, respectivamente;

CV – coeficiente de variação experimental.

Tabela 22. Cistos viáveis e inviáveis de *Heterodera glycines* em amostras de solo coletadas no florescimento pleno da soja em três sistemas de produção sob diferentes doses de calcário dolomítico em superfície. Itiquira – MT, Brasil (safras 2017/2018 e 2018/2019).

Safra 2017/2018						
Sistemas de		Doses de calcário (Mg ha ⁻¹)				
produção ⁽¹⁾	0,0	2,0	4,0	8,0		
	Cistos viáv	eis de <i>H. glyd</i>	cines no solo (1	00 cm ³) ⁽²⁾		
Monocultivo	14,5 a	16,5 a	76,0 a	99,5 a		
Sucessão de culturas	3,3 b	8,5 b	69,0 a	127,0 a		
Rotação de culturas	0,5 b	2,7 b	17,0 b	54,8 b		
	Cistos inviáv	reis de <i>H. gly</i>	cines no solo (100 cm ³) ⁽²⁾		
Monocultivo	14,8 a	50,0 a	79,3 a	193,0 a		
Sucessão de culturas	1,5 b	8,5 b	45,0 b	135,0 b		
Rotação de culturas	0,3 b	2,3 b	11,5 c	34,0 c		
Safra 2018/2019						
	Cistos viáv	eis de <i>H. glyd</i>	cines no solo (1	00 cm ³) ⁽²⁾		
Monocultivo	3,0 a	30,5 a	37,8 a	55,8 a		
Sucessão de culturas	0,8 a	5,8 b	14,8 b	27,8 b		
Rotação de culturas	0,0 a	0,0 b	3,0 c	5,5 c		
Cistos inviáveis de <i>H. glycin</i> es no solo (100 cm ³) ⁽²⁾						
Monocultivo	9,3 a	47,5 a	56,0 a	83,3 a		
Sucessão de culturas	1,8 a	18,0 b	73,5 a	92,8 a		
Rotação de culturas	0,0 a	2,5 b	8,3 b	14,8 b		

Médias seguidas por mesma letra nas colunas não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade; ⁽¹⁾ Monocultivo (soja-pousio com aplicação de herbicida no período de entressafra); sucessão (soja-milheto safrinha); rotação (soja-crotalária safrinha / soja-braquiária safrinha / soja-milho safrinha). ⁽²⁾ A comparação das médias foi realizada por meio da transformação dos resultados em √x+1.

Não houveram diferenças entre os sistemas de produção quanto aos cistos viáveis e inviáveis no solo na safra 2018/2019 somente na dose zero de calcário (Tabela 22). Nas doses de 2,0, 4,0 e 8,0 Mg ha⁻¹, a sucessão de soja-milheto safrinha e a rotação de culturas diminuíram os cistos viáveis de *H. glycines* em relação ao monocultivo de soja, que foi considerado o pior sistema. Quanto aos cistos inviáveis nas doses de 2,0, 4,0 e 8,0 Mg ha⁻¹ de calcário, a rotação de culturas foi mais eficiente. Logo, tal redução não foi suficiente ao ponto de se diferenciar estatisticamente da sucessão de soja-milheto safrinha quando aplicado 2,0 Mg ha⁻¹ de calcário.

Em todos os sistemas de produção, nas safras 2017/2018 e 2018/2019, o aumento das doses de calcário provocou incrementos lineares nos cistos viáveis (Figura 21) e inviáveis de *H. glycines* no solo (Figura 22). Sologuren & Santos (1997), estudando características químicas de solo em reboleiras de soja com *H. glycines* também encontraram correlações positivas entre as densidades de cistos viáveis com o pH do solo. Entretanto, Rocha et al. (2006) observaram que o número de cistos no

solo reduziu linearmente à medida que se aumentou as doses de calcário (0,0; 0,67; 1,35; 2,70 e 4,05 Mg ha⁻¹). De acordo com os pesquisadores, a dose de 1,35 Mg ha⁻¹ não foi suficiente para atingir a saturação por bases de 50% e, consequentemente, as outras doses não atingiram os níveis esperados. É importante observar que os experimentos com calcário podem não apresentar resultados significativos no início, pois o tempo pode não ser suficiente para promover sua reação.

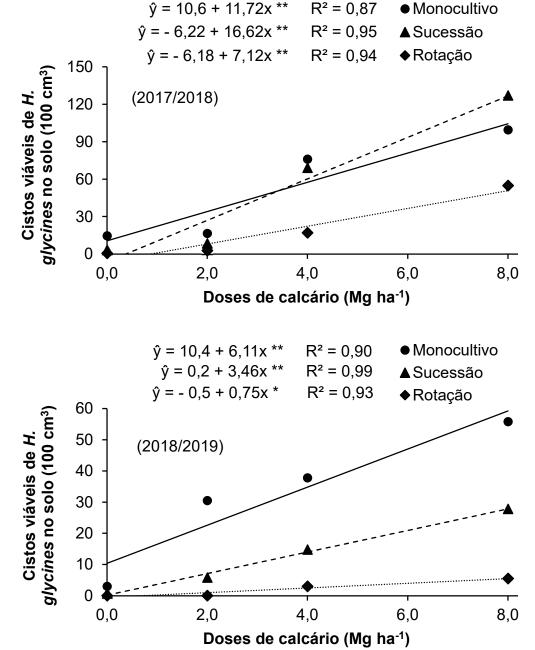


Figura 21. Cistos viáveis de *Heterodera glycines* em amostras de solo coletadas no florescimento pleno da soja em três sistemas de produção sob diferentes doses de calcário dolomítico em superfície. Itiquira – MT, Brasil (safras 2017/2018 e 2018/2019). Teste F: ** – significativo a 1% de probabilidade.

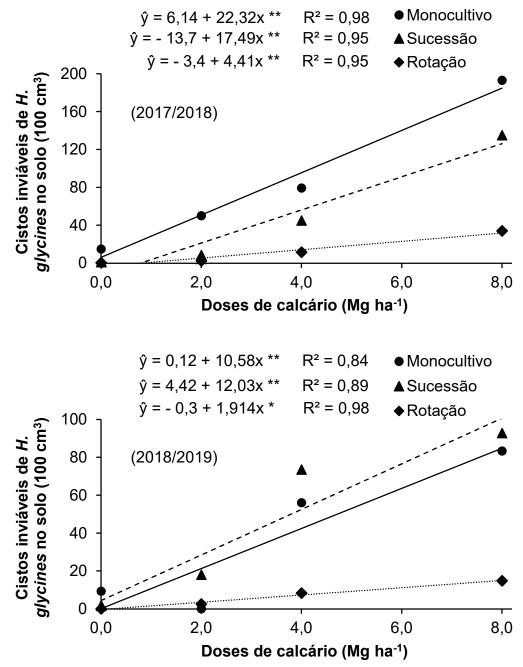


Figura 22. Cistos inviáveis de *Heterodera glycines* em amostras de solo coletadas no florescimento pleno da soja em três sistemas de produção sob diferentes doses de calcário dolomítico em superfície. Itiquira – MT, Brasil (safras 2017/2018 e 2018/2019). Teste F: ** – significativo a 1% de probabilidade.

O resumo da análise de variância multivariada demonstrando a correlação entre cada componente principal e populações de nematoides, massa de mil grãos e produtividade de grãos de soja nas safras 2017/2018 e 2018/2019 está apresentado na Tabela 23. Na safra 2017/2018, os componentes principais foram responsáveis por explicar 58,10% da variância total dos resultados originais, sendo 37,04% pelo componente principal 1 e 21,06% pelo componente principal 2. Na safra 2018/2019,

os componentes principais foram responsáveis por explicar 58,93% da variância total, sendo 40,12% pelo componente principal 1 e 18,81% pelo componente principal 2.

Tabela 23. Resumo da análise de variância multivariada demonstrando a correlação entre cada componente principal e populações de nematoides em amostras de solo e raiz coletadas no florescimento pleno da soja, população final de plantas (PFP), massa de mil grãos (MMG) e produtividade de grãos (PROD) de soja. Itiquira – MT, Brasil (safras 2017/2018 e 2018/2019).

	2017	/2018	2018/	2019
Variáveis	CP1	CP2	CP1	CP2
	(Coeficientes	de correlação	
Pratylenchus brachyurus (solo)	0,23	0,75*	0,26	0,78*
Pratylenchus brachyurus (raiz)	-0,00	0,73*	0,47	0,69*
Rotylenchulus reniformis (solo)	0,48	0,58	-0,25	0,56
Rotylenchulus reniformis (raiz)	0,77*	0,30	-0,29	0,67*
Helicotylenchus spp. (solo)	-0,69*	-0,27	0,61*	-0,30
Helicotylenchus spp. (raiz)	-0,69*	-0,27	0,67*	-0,29
Heterodera glycines (solo)	0,71*	-0,52	-0,87*	-0,11
Heterodera glycines (raiz)	0,78*	-0,22	-0,87*	-0,13
Cistos viáveis	0,71*	-0,56	-0,88*	-0,13
Cistos inviáveis	0,83*	-0,40	-0,82*	-0,16
PFP de soja	0,46	0,02	-	-
MMG de soja	-0,22	-0,50	-0,33	-0,04
PROD de soja	-0,66*	-0,16	0,73*	-0,41
PVT (%)	37,04	21,06	40,12	18,81
PVA (%)	37,04	58,10	40,12	58,93

CP1 - componente principal 1. CP2 - componente principal 2. PVT - proporção da variância total explicada. PVA - proporção da variância acumulada explicada. *Valores mais discriminatórios.

Os nematoides mais fortemente relacionados com o monocultivo de soja foram *P. brachyurus* e *H. glycines* no solo e na raiz, cistos viáveis e inviáveis de *H. glycines* no solo e *R. reniformis* na raiz da soja em ambas as safras avaliadas (Tabela 23 e Figura 23), demonstrando que tal sistema favorece alguns grupos de nematoides. As maiores populações desses nematoides no monocultivo podem ser compreendidas também pela baixa oferta de fitomassa, uma vez que sua adição favorece a proliferação de vários fungos que atacam os nematoides. A maior diversidade de culturas e maior aporte de fitomassa e de matéria orgânica na sucessão e rotação de culturas podem ter favorecido a multiplicação de bactérias e fungos nematófagos que atacam os cistos de *H. glycines*, diminuindo sua sobrevivência, como afirmaram Almeida (2008) e Silva et al. (2019). No estudo de Sereia et al. (2007), também se constatou que o monocultivo de soja aumentou a população de *R. reniformis*.

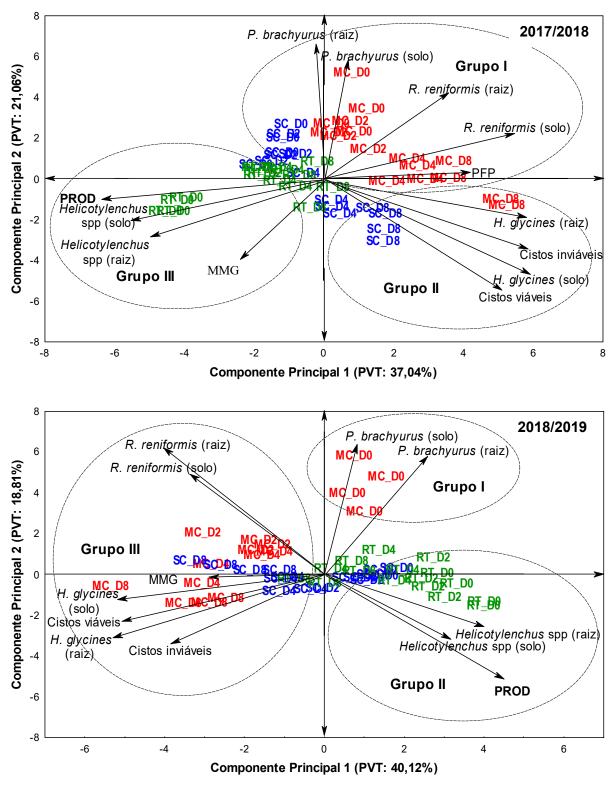


Figura 23. Análise dos componentes principais explicando 58,10% e 58,93% da variação total dos resultados nas safras 2017/2018 e 2018/2019, respectivamente, das populações de nematoides em amostras de solo e raiz coletadas no florescimento pleno da soja, massa de mil grãos (MMG) e produtividade de grãos (PROD) de soja sob monocultivo (MC), sucessão (SC) e rotação de culturas (RT). Itiquira – MT, Brasil (safras 2017/2018 e 2018/2019).

O sistema de produção sob rotação de culturas é caracterizado por apresentar forte correlação com *Helicotylenchus* spp. no solo e na raiz e com produtividade de grãos de soja nas duas safras (Tabela 23 e Figura 23). É provável que as maiores densidades populacionais desse nematoide estejam relacionadas à sua multiplicação favorecida pela *C. ochroleuca*, espécie que compôs a rotação de culturas e que foi cultivada na safrinha de 2017, antecedendo a soja da safra 2017/2018. Ademais, outra hipótese é que a inserção do milho safrinha neste sistema de produção também pode ter favorecido a multiplicação de *Helicotylenchus* spp., pois conforme Inomoto (2010), o referido nematoide vem apresentando altos níveis associados à cultura do milho.

Por fim, é muito importante destacar que estudos sobre aplicação de calcário em superfície, sem incorporação, nos mais variados sistemas de produção sob sistema plantio direto no Cerrado, são necessários e importantes para a manutenção do equilíbrio químico e biológico do solo, sem acometer as produtividades de grãos das culturas envolvidas.

5 CONCLUSÕES

Considerando as condições edafoclimáticas e a longevidade de condução deste trabalho, pôde-se concluir que:

- i) Independente da dose de calcário, a sucessão de soja-milheto safrinha e a rotação de culturas propiciaram maiores teores de cálcio e magnésio trocáveis e resultaram em solo de maior qualidade biológica na camada de 0,0-0,1 m em comparação ao monocultivo de soja;
- ii) Proporcionalmente às doses aplicadas, a calagem superficial incrementou, independente do sistema de produção, os teores de cálcio e magnésio trocáveis, pH em CaCl₂ e saturação por bases e reduziu a acidez potencial e a saturação por alumínio nas camadas de 0,0-0,1 m e de 0,1-0,2 m;
- iii) A rotação de culturas favoreceu a obtenção de maiores produtividades de grãos de soja e mostrou-se eficiente em reduzir os cistos viáveis e inviáveis e fêmeas de *H. glycines* no solo e na raiz, contudo, não apresentou-se eficaz na redução das populações de *Helicotylenchus* spp.;
- iv) O incremento nas doses de calcário em superfície diminuiu as produtividades de grãos de soja e as populações de *P. brachyurus* e *Helicotylenchus* spp. e aumentou os cistos viáveis e inviáveis e fêmeas de *H. glycines* no solo e na raiz da soja; e
- v) As produtividades de grãos de milho e de fitomassa seca de parte aérea de milheto e braquiária nos sistemas de sucessão e rotação de culturas não foram alteradas, significativamente, pela calagem superficial.

REFERÊNCIAS

ABRANTES, I.M.O.; MORAIS, M.N.; PAIVA, I.M.P.F.R.; SANTOS, M.S.N.A. Análise nematológica de solos e plantas. **Ciência Biológica**, v.1, p.139-155, 1976.

ACOSTA-MARTINEZ, V.; TABATABAI, M.A. Arylamidase activity of soils. **Soil Science Society of America Journal**, v.64, p.215-221, 2000.

ALMEIDA, E.J. *Meloidogyne mayaguensis*: o nematoide da goiabeira. 2008. Disponível em: https://www.todafruta.com.br/todafruta. Acesso em: 16 fev. 2009.

ALMEIDA, V.P.; ALVES, M.C.; SILVA, E.C.; OLIVEIRA, S.A. Rotação de culturas e propriedades físicas e químicas em Latossolo Vermelho de Cerrado sob preparo convencional e semeadura direta em adoção. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.1227-1237, 2008.

ALTMANN, N. **Plantio direto no Cerrado:** 25 anos acreditando no sistema. Passo Fundo: Aldeia Norte Editora, 2010. 568p.

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

ALVARES, C.A.; STAPE, J.L.; SENTELHAS, P.C.; MORAES, G.; LEONARDO, J.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v.22, p.711-728, 2013.

ARAÚJO, A.R. Calagem e extratos vegetais hidrossolúveis na movimentação de **íons em solo**. 2003. 85f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2003.

ASMUS, G.L.; RICHETTI, A. **Rotação de culturas para o manejo do nematoide reniforme em algodoeiro**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2010. 26p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 55).

BANZATTO, D.A.; KRONKA, S.N. **Experimentação agrícola**. 4.ed. Jaboticabal: FUNEP, 2006. 237p.

BELLÉ, C.; KUHN, P.R.; KASPARY, T.E. SCHMITT, J. Reação de cultivares de soja a *Pratylenchus brachyurus*. **Agrarian**, v.10, p.136-140, 2017.

BENITES, V.M.; CARVALHO, M.C.S.; RESENDE, A.V.; POLIDORO, J.C.; BERNADI, A.C.C.; OLIVEIRA, F.A. Potássio, cálcio e magnésio. In: PROCHNOW, L.I.; CASARIN, V.; STIPP, S.R. (Eds.). **Boas práticas para uso eficiente de fertilizantes: nutrientes**. Piracicaba: International Plant Nutrition Institute, 2010. p.133-204.

BOER, C.A.; ASSIS, R.L.; SILVA, G.P.; BRAZ, A.J.B.P.; BARROSO, A.L.L.; CARGNELUTTI FILHO, A.; PIRES, F.R. Biomassa, decomposição e cobertura do solo ocasionada por resíduos culturais de três espécies vegetais na região Centro-Oeste do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.843-851, 2008.

- BOER, C.A.; ASSIS, R.L.; SILVA, G.P.; BRAZ, A.J.B.P.; BARROSO, A.L.L.; CARGNELUTTI FILHO, A.; PIRES, F.R. Ciclagem de nutrientes por plantas de cobertura na entressafra em um solo de Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.42, p.1269-1276, 2007.
- BORIN, A.L.D.C.; FERREIRA, A.C.B.; BRITO, G.G.; BOGIANI, J.C.; CARVALHO, M.C.S. Calagem superficial e sua influência sobre a acidez do solo e produção do algodoeiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 34., 2013. Florianópolis. **Anais...** Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2013. p.1-4.
- BRASMAX. **Cultivares de soja:** região Cerrado. 2017. Disponível em: http://www.brasmaxgenetica.com.br>. Acesso em: 10 out. 2017.
- BRIDA, A.L.D.; GABIA, A.; PEZZONI FILHO, J.C.; MORAES, D.; WILCKEN, S. Variabilidade espacial de *Meloidogyne javanica* em soja. **Summa Phytopathologica**, v.42, p.175-179, 2016.
- CAIRES, E.F. Calcário aplicado em SPD pode amenizar acidez, em camadas profundas do solo. **Visão Agrícola**, p.45-48, 2015.
- CAIRES, E.F.; ALLEONI, L.R.F.; CAMBRI, M.A.; BARTH, G. Surface application of lime for crop grain production under a no-till system. **Agronomy Journal**, v.97, p.791-798, 2005.
- CAIRES, E.F.; BANZATTO, D.A.; FONSECA, A.F. Calagem na superfície em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.24, p.161-169, 2000.
- CAIRES, E.F.; BLUM, J.; BARTH, G.; GARBUIO, F.J.; KUSMAN, M.T. 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**, v.27, p.275-286, 2003.
- CAIRES, E.F.; GARBUIO, F.J.; CHURKA, S.; BARTH, G.; CORRÊA, J.C.L. Effects of soil acidity amelioration by surface liming on no-till corn, soybean, and wheat root growth and yield. **European Journal of Agronomy**, v. 28, p.57-64, 2008.
- CAIXETA, L.B.; FURLANETTO, C.; CARES, J.E. Gênero *Heterodera*. In: OLIVEIRA, C.M.G.; CASTRO, L.H.S.; SANTOS, M.A. **Diagnose de fitonematoides**. Campinas: Millenium, 2016. p.133-142.
- CAMBRI, M.A. Calagem e formas de alumínio em três localidades sob sistema de plantio direto. 2004. 83f. Tese (Doutorado em Agronomia) Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.
- CARNEIRO, M.A.C.; SOUZA, E.D.; REIS, E.F.; PEREIRA, H.S.; AZEVEDO, W.R. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo de cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, p.147-157, 2009.
- CHIAVENATO, I. **Introdução à teoria geral da administração**. 4.ed. São Paulo: Makron Books, 1993. 920p.

- COELHO, A.M. **Nutrição e adubação do milho**. 1.ed. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2006. 10p. (Circular técnica, 78).
- CONAB Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos:** quinto levantamento, fevereiro/2020. Brasília: Conab, 2020. 109p.
- COOLEN, W.A.; D'HERDE, C.J. **A method for the quantitative extraction of nematodes from plant tissue**. Gent: State Agricultural Research Center, 1972. 77p.
- CORREIA, A.F.; NEVES, L.G.; SERAFIM, M.E.; ZEVIANI, W.M.; ARAÚJO, K.L.; MAROSTEGA, T.N. Atributos químicos do solo com o uso de gesso e milheto de cobertura em cultivares de abacaxizeiro. **Revista de Ciências Agrárias Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences**, v.60, p. 25-32, 2017.
- CORREIA, N.M.; DURIGAN, J.C. Culturas de cobertura e sua influência na fertilidade do solo sob sistema de plantio direto. **Bioscience Journal**, v.24, p.20-31, 2008.
- COSTA, R.V.; SILVA, D.D.; VIANA, L.C.; AGUIAR, F.M. Doenças do milho. In: FUNDAÇÃO MT. (Org.). **Boletim de pesquisa 2017/2018:** soja, algodão e milho. 18.ed. Cuiabá: Entrelinhas Editora, 2017. p.274-309.
- CRUZ, C.D. **Programa genes:** aplicativo computacional em genética e estatística. Viçosa: UFV, 2001.
- CRUZ, C.S.S.; PEREIRA, F.R.S.; SANTOS, J.R.; ALBUQUERQUE, A.W.; PEREIRA, R.G. Adubação nitrogenada para o milho cultivado em sistema plantio direto, no estado de Alagoas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.12, p.62-68, 2008.
- DEGRANDE, P.E.; VIVAN, L.M. Pragas comuns do sistema de produção soja/milho/algodão. In: FUNDAÇÃO MT. (Org.). **Boletim de pesquisa 2017/2018:** soja, algodão e milho. 18.ed. Cuiabá: Entrelinhas Editora, 2017. p.182-208.
- DIAS-ARIEIRA, C.R.; FERRAZ, S.; FREITAS, L.G.; MIZOBUTSI, E.H. Avaliação de gramíneas forrageiras para controle de *Meloidogyne incognita* e *M. javanica* (Nematoda). **Acta Scientiarum: Agronomy**, v.25, p.473-477, 2003.
- EMBRAPA Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5.ed. Brasília: Embrapa, 2018. 356p.
- EMBRAPA Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Tecnologias de produção de soja:** região Central do Brasil 2014. Londrina: Embrapa Soja, 2013. 265p. (Sistemas de Produção, 16).
- ERNANI, P.R.; BAYER, C.; FONTOURA, S.M.V. Influência da calagem no rendimento de matéria seca de plantas de cobertura e adubação verde, em casa de vegetação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.25, p.897-904, 2001.

- FABIAN, A.J. **Plantas de cobertura:** efeito nos atributos do solo e na produtividade de milho e soja em rotação. 2009. 83f. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Jaboticabal, 2009.
- FARIAS, J.R.B.; NEPOMUCENO, A.L.; NEUMAIER, N. **Ecofisiologia da soja**. Londrina: Embrapa Soja, 2007. 9p. (Circular Técnica, 48).
- FERRAZ, L.C.C.B.; BROWN, D.J.F. **Nematologia de plantas:** fundamentos e importância. Manaus: Norma Editora, 2016. 251p.
- FERRARI, E.; RAMOS JUNIOR, E.U.; TAVARES, G.; FALEIRO, V.O.; SHIOMI, H.F.; DEBIASI, H.; FRANCHINI, J.C. Dinâmica populacional do nematoide Pratylenchus brachyurus em diferentes sistemas produtivos em MT. **Scientific Electronic Archives**, v.9, p.32-40, 2016.
- FERREIRA, D. Sisvar: a guide for its bootstrap procedures in multiple comparisons. **Ciência e Agrotecnologia**, v.38, n.2, p.109-112, 2014.
- FRANCHINI, J.C.; DEBIASI, H.; DIAS, W.P.; RAMOS JUNIOR, E.U.; BALBINOT JUNIOR, A.A. Densidade populacional do nematoide das lesões radiculares em soja e sua relação com a calagem. In: REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA, 34., 2014. Londrina. **Resumos Expandidos...** Londrina: Embrapa Soja, 2014. p.158-160.
- FRANCHINI, J.C.; MEDA, A.R.; CASSIOLATO, M.E.; MYIAZAWA, M.; PAVAN, M.A. Potencial de extratos de resíduos vegetais na mobilização de calcário no solo por método biológico. **Scientia Agricola**, v.58, p.357-360, 2001.
- FREIRE, E.S.; PEDROSO, L.A.; TERRA, W.C.; SILVA, J.C.P.; MARASCA, I.; CAMPOS, V.P. Manejo de fitonematoides no sistema de plantio direto. In: MEDEIROS, F.H.V.; PEDROSO, L.A.; GUIMARÃES, M.R.F.; SILVA, B.A.A.S.; ALMEIDA, L.G.F.; Silva, F.J.; SILVA, R.L.M.; FERREIRA, L.C.; PEREIRA, A.K.M.; COUTO, T.B.R.; GOMES, V.A.; MEDEIROS, R.M.; VEIGA, C.M.O.; SILVA, M.F.; FIGUEIREDO, Y.F.; GATTI, G.V.N.; NICOLLI, C.P. (Eds.). Novos sistemas de produção. Lavras: UFLA, 2017. p.111-127.
- FUENTES, J.P.; BEZDICEK, D.F.; FLURY, M.; ALBRECHT, S.; SMITH, J.L. Microbial activity affected by lime in a long-term no-till soil. **Soil and Tillage Research**, v.88, p.123-131, 2006.
- GARBIN, L.F.; COSTA, M.J.N. Incidência do fitonematoide *Helicotylenchus* em análises laboratoriais do Mato Grosso. **Connection Line**, v.12, p.90-96, 2015.
- GODOY, C.V.; ALMEIDA, A.M.R.; COSTAMILAN, L.M.; MEYER, M.C.; DIAS, W.P.; SEIXAS, C.D.S.; SILVA, J.F.V.; HENNING, A.A.; SOARES, R.M. Doenças da soja. In: **Manual de fitopatologia**. 2014. p.657-676.
- GONÇALVES, W.G.; JIMENEZ, R.L.; ARAÚJO FILHO, J.V.; ASSIS, R.L.; SILVA, G.P.; PIRES, F.R. Sistema radicular de plantas de cobertura sob compactação do solo. **Engenharia Agrícola**, v.26, p.67-75, 2006.

GOULART, A.M.C. Aspectos gerais sobre nematoides das lesões radiculares (gênero *Pratylenchus*). Planaltina: Embrapa Cerrados, 2008. 30p. (Documentos, 219).

HARTMAN, G.L.; WEST, E.D.; HERMAN, T.K. Organically grown soybean production in the USA: constraints and management of pathogens and insect pests. **Agronomy**, v.6, p.16, 2016.

HENNING, A.A.; ALMEIDA, Á.M.R.; GODOY, C.V.; SEIXAS, C.D.S.; YORINORI, J.T.; COSTAMILAN, L.M.; DIAS, W.P. **Manual de identificação de doenças de soja**. Londrina: Embrapa Soja, 2014. 76p. (Documentos, 256).

HIRAKURI, M.H.; DEBIASI, H.; PROCÓPIO, S.O.; FRANCHINI, J.C.; CASTRO C. **Sistemas de produção:** conceitos e definições no contexto agrícola. Londrina: Embrapa Soja, 2012. 24p. (Documentos, 335).

HOLLOWAY, J.D.; STORK, N.E. The dimension of biodiversity: the use of invertebrates as indicators of human impact. In: HAWKSWORTH, D.L. **The biodiversity of microorganisms and invertebrates:** Its role in sustainable agriculture. Wallington, Oxon, UK: CAB International, 1991. p.37-63.

INOMOTO, M.M. Avanço dos nematoides. Revista Cultivar, n.127, p.12-15, 2010.

INOMOTO, M.M. Importância e manejo de *Pratylenchus brachyurus*. **Revista Plantio Direto**, v.108, p.4-9, 2008.

INOMOTO, M.M.; ASMUS, G.L. Adubos verdes das famílias Fabaceae e Mimosaceae para o controle de fitonematoides. In: LIMA FILHO, O.F.; AMBROSANO, E.J.; ROSSI, F.; CARLOS, J.A.D. (Eds.). **Adubação verde e plantas de cobertura no Brasil**. Brasília: Embrapa, 2014. p.441-479.

INOMOTO, M.M.; ASMUS, G.L. Culturas de cobertura e de rotação devem ser plantas não hospedeiras de nematoides. **Visão Agrícola**, n.2, p.112-116, 2009.

JACKSON, M.L. Análisis químico de suelos. 2.ed. In: MARTINEZ, J.B. (Ed.) Trad. Barcelona: Ed. Omega S.A., 1970, 662p.

JENKINS, W.R. A rapid centrifugal-flotation technique for separating nematodes from soil. **Plant Disease Reporter**, v.48, p.692, 1964.

KAPPES, C. Inserção do milho safrinha em sistemas de produção no Mato Grosso. In: FUNDAÇÃO MT. (Org.). **Boletim de pesquisa 2015/2026:** soja, algodão e milho. 17.ed. Santa Cruz do Sul: Editora Gazeta, 2015. p.136-173.

KAPPES, C.; ZANCANARO, L. Manejo da fertilidade do solo em sistemas de produção no Mato Grosso. In: RESENDE, A.V.; RODRIGUES, J.A.S.; PAES, M.C.D. (Eds.). **Livro de palestras do 30º Congresso Nacional de Milho e Sorgo**. Sete Lagoas: Associação Brasileira de Milho e Sorgo, 2014. p.358-381.

- LANGE, A.; CHAPLA, M.E. Aplicação de alta dose de calcário calcítico e dolomítico em superfície. In: SEMINÁRIO NACIONAL MILHO SAFRINHA, 14., 2017. Cuiabá. **Anais...** Sete Lagoas: Associação Brasileira de Milho e Sorgo, 2017. p.2-7.
- LEAL, A.J.F.; LAZARINI, E.; RODRIGUES, L.R.; MURAISHI, C.T.; BUZETTI, S.; MASCARENHAS, H.A.A. Aplicação de calcário e culturas de cobertura na implantação do sistema plantio direto em Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.2771-2777, 2008.
- LEANDRO, H.M.; ASMUS, G.L. Efeito de gramíneas forrageiras em rotação, sucessão ou consorciação com soja sobre a população do nematoide reniforme. **Nematologia Brasileira**, v.36, p.55-61, 2012a.
- LEANDRO, H.M.; ASMUS, G.L. Efeito do cultivo de milho, braquiária, crotalária e soja sobre a população do nematoide reniforme (*Rotylenchulus reniformis*) em solo naturalmente infestado. In: JIPE. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2012b.
- LEANDRO, H.M.; ASMUS, G.L. Rotação e sucessão de culturas para o manejo do nematoide reniforme em área de produção de soja. **Ciência Rural**, v.45, p.945-950, 2015.
- LEITE, L.F.C.; FREITAS, R.C.A.; SAGRILO, E.; GALVÃO, S.R.S. Decomposição e liberação de nutrientes de resíduos vegetais depositados sobre Latossolo Amarelo no Cerrado Maranhense. **Revista Ciência Agronômica**, v.41, p.29-35, 2010.
- LOPES, A.A.C.; SOUSA, D.M.G.; CHAER, G.M.; REIS JUNIOR, F.B.; GOEDERT, W.J.; MENDES, I.C. Interpretation of microbial soil indicators as a function of crop yield and organic carbon. **Soil Science Society of America Journal**, v.77, p.461-472, 2013.
- LOPES, A.A.C.; SOUSA, D.M.G.; REIS-JÚNIOR, F.B.; FIGUEIREDO, C.C.; MALAQUIAS, J.V.; SOUZA, L.M.; MENDES, I.C. Temporal variation and critical limits of microbial indicators in oxisols in the Cerrado, Brazil. **Geoderma Regional**, v.12, p.72-82, 2018.
- LOPES, A.P.M.; CARDOSO, M.R.; PUERARI, H.H.; FERREIRA, J.C.A.; DIAS-ARIEIRA, C.R. Manejo de *Pratylenchus brachyurus* em soja usando tratamento de sementes e indutor de resistência. **Nematropica**, v.47, p.1-7, 2017.
- LOPES, A.S. **Manual internacional de fertilidade do solo**. 2.ed. Piracicaba: Potafós, 1998. 177p.
- MACHADO, A.C.Z.; SILVA, S.A.; DORIGO, O.F.; RIEDE, C.R.; GARBUGLIO, D.D. Phenotypic variability and response of Brazilian oat genotypes to different species of root-knot and root-lesion nematodes. **European Journal of Plant Pathology**, v.141, p.111-117, 2015.
- MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2.ed. London: Academic Press, 1995. 889p.

- MEYER, M.C.; FAVORETO, L.; KLEPKER, D.; MARCELINO, F.C.G. Soybean green stem and foliar retention syndrome caused by *Aphelenchoides besseyi*. **Tropical Plant Pathology**, v.42, p.403-409, 2017.
- MENDES, I.C.; ONO, F.B.; OLIVEIRA, M.I.; SILVA, R.G.; KAPPES, C.; REIS-JUNIOR, F.B.; ZANCANARO, L. Rotação de culturas, bioindicadores e saúde do solo. In: FUNDAÇÃO MT. (Org.). **Boletim de pesquisa 2019/2020**. 19.ed. Cuiabá: Entrelinhas Editora, 2019. p.102-110.
- MENDES, I.C.; SOUSA, D.M.G.; REIS-JUNIOR, F.B.; LOPES, A.A.C. **Bio-análise de solo:** como acessar e interpretar a saúde do solo. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2018. 24p.
- MITCHUM, M.G. Soybean resistance to the soybean cyst nematode *Heterodera glycines*: an update. **Phytopathology**, v.106, p.1444-1450, 2016.
- MOTA NETO, L.V.; NOLLA, A.; CASTALDO, J.H.; OLIVEIRA, M.S.; SUZANO, G.S.; SORACE, M. Efeito residual da aplicação de calcário e doses de gesso agrícola. **Journal of Agronomic Sciences**, v.6, p.13-21, 2017.
- NATALE, W.; PRADO, R.M.; ROZANE, D.E.; ROMUALDO, L.M. Efeitos da calagem na fertilidade do solo e na nutrição e produtividade da goiabeira. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, p.1475-1485, 2007.
- NICOLODI, M.; GIANELLO, C.; ANGHINONI, I.; MARRÉ, J.; MIELNICZUK, J. Insuficiência do conceito mineralista para expressar a fertilidade do solo percebida pelas plantas cultivadas no sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.2735-2744, 2008.
- OLIVEIRA, C.M.G.; SANTOS, M.A.; CASTRO, L.H.S. **Diagnose de fitonematoides**. Millenium Editora, 2016. 367p.
- ONO, F.B.; KAPPES, C.; ZANCANARO, L.; SEMLER, T.D. Calagem superficial e incorporada e sua influência na produtividade do milho safrinha ao longo de cinco anos. In: SEMINÁRIO NACIONAL MILHO SAFRINHA, 14., 2017. Cuiabá. **Anais...** Sete Lagoas: Associação Brasileira de Milho e Sorgo, 2017. p.13-17.
- PAVINATO, P.S.; ROSOLEM, C.A. Disponibilidade de nutrientes no solo: decomposição e liberação de compostos orgânicos de resíduos vegetais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.911-920, 2008.
- PIMENTEL GOMES, F.; GARCIA, C.H. **Estatística aplicada a experimentos agronômicos e florestais:** exposição com exemplos e orientações para uso de aplicativos. Piracicaba: FEALQ, 2002. 309p.
- PIONEER. **Híbridos de milho**. 2019. Disponível em: https://www.pioneersementes.com.br>. Acesso em: 17 jan. 2019.
- QUAGGIO, J.A. **Acidez e calagem em solos tropicais**. Campinas: Instituto Agronômico, 2000. 111p.

- RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e manejo de nutrientes**. Piracicaba: IPNI, 2011. 420p.
- ROCHA, M.R.; CARVALHO, Y.; CORRÊA, G.C.; CATTINI, G.P.; PAOLINI, G. Efeito de doses crescentes de calcário sobre a população de *Heterodera glycines* em soja. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.36, p.89-94, 2006.
- RODRIGUES, J.A.S.; PEREIRA FILHO, I.A. **Cultivo do milheto:** cultivares. 2.ed. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2010. (Sistema de Produção, 3).
- ROSSI, C.Q.; PEREIRA, M.G.; GIÁCOMO, S.G.; BETTA, M.; POLIDORO, J.C. Frações lábeis da matéria orgânica em sistema de cultivo com palha de braquiária e sorgo. **Revista Ciência Agronômica**, v.43, p.38-46, 2012.
- SALTON, J.C.; TOMAZI, M. **Sistema radicular de plantas e qualidade do solo**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2014. 5p. (Comunicado Técnico, 198).
- SERAFIM, M.E.; LIMA, J.M.; LIMA, V.M.P.; ZEVIANI, W.M.; PESSONI, P.T. Alterações físico-químicas e movimentação de íons em Latossolo gibbsítico sob doses de gesso. **Bragantia**, v.71, p.75-81, 2012.
- SEREIA, A.F.R.; ASMUS, G.L.; FABRÍCIO, A.C. Influência de diferentes sistemas de produção sobre a população de *Rotylenchulus reniformis* (Linford & Oliveira, 1940) no solo. **Nematologia Brasileira**, v.31, p.42-45, 2007.
- SILVA, J.A. Culturas de cobertura, doses e tipos de calcário em superfície na implantação do sistema plantio direto com a cultura da soja irrigada. 2008. 113f. Dissertação (Mestrado em Sistemas de Produção) Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Ilha Solteira, 2008.
- SILVA, R.A.; MACHADO, A.C.Z.; SANTOS, T.F.S.; SILVA, R.G. Nematoides no sistema de produção. In: FUNDAÇÃO MT. (Org.). **Boletim de pesquisa 2019/2020**. 19.ed. Cuiabá: Entrelinhas Editora, 2019. p.192-208.
- SILVA, R.A.; NUNES, N.A.; SANTOS, T.F.S.; IWANO, F.K. Efeito da rotação e sucessão de culturas no manejo de nematoides da soja em área arenosa. **Nematropica**, v.48, p.198-206, 2018.
- SILVA, R.G.; SANTOS, T.F.S.; CORADINI, D.; SILVA, M.B.S.; RIBEIRO, L.Q.; SANTOS, T.S.; SILVA, S.S.S.S. Reação de híbridos de milho ao nematoide *Meloidogyne incognita*. In: SEMINÁRIO NACIONAL MILHO SAFRINHA, 14., 2017. Cuiabá. **Anais...** Sete Lagoas: Associação Brasileira de Milho e Sorgo, 2017. p.317-322.
- SILVEIRA, P.M.; CUNHA, P.C.R.; STONE, L.F.; SANTOS, G.G. Atributos químicos de solo cultivado com diferentes culturas de cobertura. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.40, p.283-290, 2010.

- SMITH, J.L.; PAUL, E.A. The significance of soil microbial biomass estimations. In: BOLLAG, J.; STOTZKY, D.G. **Soil biochemistry**. New York: M. Dekker, 1990. p.357-396.
- SOLOGUREN, L.J.; SANTOS, M.A. Estudo de características químicas de solo em reboleiras de soja com *Heterodera glycines*. **Fitopatologia Brasileira**, v.22 (suplemento), p.329, 1997.
- SOUSA, D.M.G.; LOBATO, E. **Cerrado:** correção do solo e adubação. 2.ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. 416p.
- TABATABAI, M.A. Soil enzymes. In: WEAVER, R.W. (Ed.). **Methods of soil analysis:** microbiological and biochemical properties part 2. Madison: Soil Science Society of America, 1994. p.778-833.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6.ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 848p.
- TANAKA, R.T.; MASCARENHAS, H.A.A.; BULISANI, E.A. Deficiência de manganês em soja induzida por excesso de calcário. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.27, p.247-250, 1992.
- TEIXEIRA, M.B.; LOSS, A.; PEREIRA, M.G.; PIMENTEL, C. Decomposição e liberação de nutrientes da parte aérea de plantas de milheto e sorgo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, p.867-876, 2011.
- TORRES, J.L.R.; PEREIRA, M.G. Dinâmica do potássio nos resíduos vegetais de plantas de cobertura no Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.1609-1618, 2008.
- VERONESE, M.; FRANCISCO, E.A.B.; ZANCANARO, L.; ROSOLEM, C.A. Plantas de cobertura e calagem na implantação do sistema plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.47, p.1158-1165, 2012.
- VITTI, G.C.; PRIORI, J.C. Calcário e gesso: os corretivos essenciais ao plantio direto. **Visão Agrícola**, v.9, p.30-34, 2009.
- WALKLEY, A. A critical examination of a rapid method for determining organic carbono in soils: effect of variations in digestion conditions and of inorganic soil constituents. **Soil Science**, v.63, p.251-263, 1947.
- WALKLEY, A.; BLACK, I.A. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. **Soil Science**, v.37, p.29-38, 1934.
- WANG, K.H.; SIPES, B.S.; SCHMITT, D.P. Crotalaria as a cover crop for nematode management: a review. **Nematropica**, v.32, p.35-57, 2002.

YORINORI, J.T.; YUYAMA, M.M.; SIQUERI, F.V.; ARAÚJO JÚNIOR, I.P. Doenças da soja. In: FUNDAÇÃO MT. (Org.). **Boletim de pesquisa 2017/2018:** soja, algodão e milho. 18.ed. Cuiabá: Entrelinhas Editora, 2017. p.212-260.

ZANCANARO, L.; KAPPES, C.; VALENDORFF, J.D.P.; CORADINI, D.; DAVID, M.A.; ONO, F.B.; SEMLER, T.D.; VIDOTTI, M.V. Manejo do solo, adubação e nutrição na cultura da soja. In: FUNDAÇÃO MT. (Org.). **Boletim de pesquisa 2017/2018:** soja, algodão e milho. 18.ed. Cuiabá: Entrelinhas Editora, 2017. p.54-79.

ZANCANARO, L.; ONO, F.B.; KAPPES, C.; SEMLER, T.D.; VALENDORFF, J.D.P.; CORADINI, D.; VIDOTTI, M.V. Manejo do solo, adubação e nutrição na cultura da soja. In: FUNDAÇÃO MT. (Org.). **Boletim de pesquisa 2019/2020**. 19.ed. Cuiabá: Entrelinhas Editora, 2019. p.112-136.

ZANDONÁ, R.R.; BEUTLER, A.N.; BURG, G.M.; BARRETO, C.F.; SCHMIDT, M.R. Gesso e calcário aumentam a produtividade e amenizam o efeito do déficit hídrico em milho e soja. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.45, p.128-137, 2015.

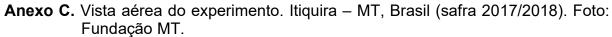
ANEXOS

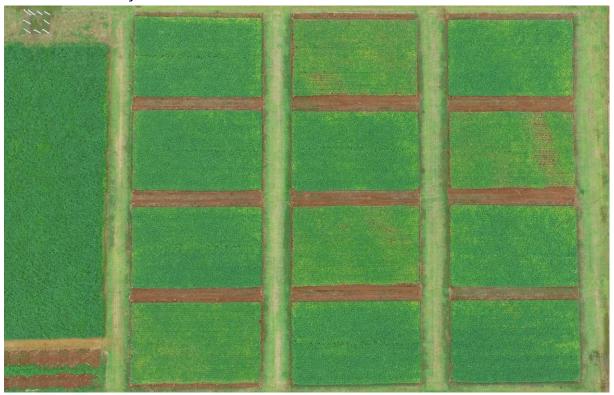
Anexo A. Vista geral da área experimental da Fundação de Apoio à Pesquisa Agropecuária de Mato Grosso, local onde o experimento foi conduzido. Itiquira – MT, Brasil (safra 2017/2018). Foto: Fundação MT.



Anexo B. Aplicação do calcário dolomítico em superfície (sem incorporação) no sistema de produção sob monocultivo de soja-pousio com aplicação de herbicida no período de entressafra. Itiquira – MT, Brasil (safra 2017/2018). Foto: Fundação MT.







Anexo D. Vista geral do sistema de produção sob monocultivo de soja-pousio com aplicação de herbicida no período de entressafra. Itiquira – MT, Brasil (safra 2018/2019). Foto: Fundação MT.



Anexo E. Vista geral do sistema de produção sob sucessão de culturas soja-milheto safrinha. Itiquira – MT, Brasil (safra 2018/2019). Foto: Fundação MT.



Anexo F. Vista geral do sistema de produção sob rotação de culturas soja-crotalária safrinha / soja-braquiária safrinha / soja-milho safrinha. Itiquira – MT, Brasil (safra 2018/2019). Foto: Fundação MT.

