



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
Campus de Ilha Solteira

JOÃO WILLIAM BOSSOLANI

**REAPLICAÇÃO SUPERFICIAL DE CALCÁRIO E GESSO EM
SISTEMA PLANTIO DIRETO: EFEITOS NO SOLO E NA SUCESSÃO
DE CULTURAS**

Ilha Solteira
2018

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

JOÃO WILLIAM BOSSOLANI

**REAPLICAÇÃO SUPERFICIAL DE CALCÁRIO E GESSO EM
SISTEMA PLANTIO DIRETO: EFEITOS NO SOLO E NA SUCESSÃO
DE CULTURAS**

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

Edson Lazarini
Orientador

FICHA CATALOGRÁFICA

Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

B745r Bossolani, João William.
Reaplicação superficial de calcário e gesso em sistema plantio direto: efeitos no solo e na sucessão de culturas / João William Bossolani. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2018
129 f. : il.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Especialidade: Sistemas de Produção, 2018

Orientador: Edson Lazarini
Inclui bibliografia

1. Acidez do solo. 2. Calagem. 3. *Zea mays*. 4. *Glycine max*. 5. *Urochloa brizantha* cv. 6. Marandu.


Raiane da Silva Santos



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Ilha Solteira

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: REAPLICAÇÃO SUPERFICIAL DE CALCÁRIO E GESSO EM SISTEMA PLANTIO DIRETO: EFEITOS NO SOLO E NA SUCESSÃO DE CULTURAS

AUTOR: JOÃO WILLIAM BOSSOLANI

ORIENTADOR: EDSON LAZARINI

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em AGRONOMIA, área: SISTEMAS DE PRODUÇÃO pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. EDSON LAZARINI

Departamento de Fitotecnia, Tecnologia de Alimentos e Sócio Economia / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira

Prof. Dr. MARCO EUSTAQUIO DE SA

Departamento de Fitotecnia, Tecnologia de Alimentos e Sócio Economia / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira

Prof. Dr. FLÁVIO HIROSHI KANEKO

Câmpus de Iturama / Universidade Federal do Triângulo Mineiro

Ilha Solteira, 23 de fevereiro de 2018

DEDICO...

À minha mãe, Benedita José Oliveira Bossolani e ao meu pai, João Nelson Bossolani pelo exemplo de honestidade, dignidade, sacrifício, amor e dedicação, que ajudaram a formar a pessoa que sou hoje. Que cada uma das minhas conquistas seja a realização de seus próprios sonhos.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, pela saúde, proteção, e que foi meu pilar nos momentos difíceis, e também a Nossa Senhora Aparecida, por sempre iluminar meu caminho, me guiando e dando forças pra seguir em direção aos meus sonhos. Também a Unesp Campus de Ilha Solteira, onde me encontrei como pessoa e pela formação sem igual.

Aos meus pais, avô, irmãos e tios por sempre me confortarem e serem meu alicerce nessa vida. Aos meus primos Pedro e Sônia pelo apoio inicial para entrar na faculdade.

A minha namorada Fabiana Lopes, pelo grande incentivo, amor e carinho na minha jornada até aqui.

Em especial, aos meus orientadores Edson Lazarini e Marco Eustáquio de Sá, os quais muito considero que me ajudaram das mais variadas formas possíveis. Pela orientação, por me transmitir conhecimento, pela paciência, palavra amiga e pelos infinitos conselhos que me tornaram a pessoa que sou hoje, minha eterna gratidão.

Aos professores da Pós Graduação pelos incentivos e ensinamentos, são exemplos de pessoas que conciliam profissionalismo, responsabilidade para com o ensino, pesquisa e extensão, além de grande disponibilidade aos discentes.

A Equipe Edson, na qual tive a oportunidade de trabalhar com pessoas que muito me agregaram: Luiz Gustavo Moretti (Berin), Raul S. Pivetta, Vitor A. Rodrigues, Tiago Parente, Sheila Caioni, Eric Hiroki (Hipoglós), Adalberto Rezende (Peba), Izabela Rodrigues Sanches (Pé Vermeio), Hugo Meneghette (Diluído), Lucas Fenelon (Quiabo), Fabiana Lopes, Eduardo Félix (Kiwi), Luan Moura (Viado) e Davi Corte Petean (Ferruge).

Aos funcionários da Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão – FEPE pelo suporte no desenvolvimento deste experimento, principalmente ao Baiano, Cézár e Juliano. Também aos funcionários que tive a alegria de conhecer, conviver e aprender muitas coisas, pelas longas conversas, Alexandre e Elton. Meus sinceros agradecimentos por todos os momentos vivenciados.

Por fim, não menos importante, agradeço aos meus amigos Fábio dos Santos Eglit, João Bettiol, Luis Merlotti, Donário Teixeira, Geison (Cuca) e Gleico Santana (Cowboy) pela sempre amizade.

Muito Obrigado!

RESUMO

Em um sistema plantio direto em processo de estabilização, não pode haver revolvimento do solo. Neste sentido o uso de gesso agrícola pode ser uma alternativa para viabilizar a aplicação do calcário em superfície sem que seja necessária sua incorporação. Dessa forma, o gesso entra como um insumo complementar ao uso do calcário. Em vista do exposto, o presente trabalho objetivou estudar o comportamento do calcário e/ou gesso reaplicados em superfície, e seus reflexos nos atributos químicos do solo e nas culturas do milho e soja em sucessão. O experimento está sendo desenvolvido desde o ano de 2011 em LATOSSOLO VERMELHO distrófico de textura argilosa, desde o ano de 2011, no qual se apresenta em delineamento em blocos ao acaso, em esquema de parcelas sub-subdivididas com quatro repetições. Como tratamentos nas parcelas, foi instalado o milho em dois sistemas de cultivo, sendo eles, solteiro e consorciado com *Urochloa*. Para as subparcelas foram utilizadas quatro doses de calcário (0; 2000; 4000 e 6000 kg ha⁻¹) e quatro doses de gesso (0; 1500; 3000 e 4500 kg ha⁻¹) distribuídas ao acaso nas sub-subparcelas. As aplicações foram em superfície manualmente em cada parcela e sendo realizadas as seguintes avaliações: características agronômicas, estado nutricional e produtividade de grãos das culturas do milho e soja e os atributos químicos do solo em diferentes profundidades (0,0 – 0,10; 0,10 – 0,20 e 0,20 – 0,40 m). O efeito residual das maiores doses de calcário reaplicados em 2014 proporciona maior produtividade na soja semeada 2 anos depois. Elevadas doses de calcário reduzem os teores de micronutrientes nas folhas de milho e soja. A produtividade de grãos de milho e soja é maior na associação de das doses de 4000 kg ha⁻¹ de calcário com doses entre 1500 - 3000 kg ha⁻¹. A reaplicação superficial de calcário e gesso combinados promovem redução da acidez e elevação dos teores de Ca e Mg no perfil do solo. A reaplicação de calcário associada com gesso contribui para que os efeitos da calagem superficial alcancem maiores profundidades.

Palavras chave: Acidez do solo. Calagem. Gessagem. *Zea mays*. *Glycine max*. *Urochloa brizantha* cv. Marandu.

ABSTRACT

In the process of stabilizing in a no-tillage system, the soil revolving must be minimized. In this sense the application of lime can be an alternative to enable the use of gypsum as an alternative to conditioner the subsurface soil layers in the short term, and it can be used as a complementary product to lime because of its greater solubility and mobility in the soil profile. Therefore, the aim of this experiment was to study the effect of lime and gypsum reapplied in surface and their impacts on maize crop under the sole and intercropped with soybean. The experiment is being developed in a dystrophic Red Latosol with clayey texture, since the year of 2011, and arranged in a randomized block designs, in split-split plots, with four replications. As treatments in the plots, the maize was installed in two cropping systems: sole and intercropped with *Urochloa*. For the subplots, were used four doses of lime (0; 2000; 4000 and 6000 kg ha⁻¹) and four doses of gypsum (0; 1500; 3000 and 4500 kg ha⁻¹) randomly distributed in the sub-subplots. The applications were manual and in surface in each plot, and being performed the following evaluations: agronomic characteristics, nutritional status and grains yield of maize and soybean and the chemical attributes of soil in three different depth (0,0 – 0,10; 0,10 – 0,20 e 0,20 – 0,40 m). The residual effect of the major gypsum doses reapplied in 2014 provided greater yield on the soybean sown two years after. Higher doses of gypsum reduced the micronutrient content in leaves of maize and soybean. The grain yield of maize and soybean is greater when associated with doses of 4000 kg ha⁻¹ of gypsum and 1500 - 3000 kg ha⁻¹ of lime. The combined surface reapplication of gypsum and lime promote acidity reduction and high Ca and Mg contents in the soil profile. The reapplication of gypsum associated with lime contributes to the superficial liming effects reach greater depths.

Keywords: Soil Acidity. Liming. Gypsing. *Zea mays*. *Glycine max*. *Urochloa brizantha* cv. Marandu.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1** - Precipitação pluvial (mm), temperatura máxima e mínima do ar (°C) durante o período de condução do experimento. Selvíria - MS, Brasil, 2015-2017..... 23
- Figura 2** - Altura de plantas de soja em função do residual de doses de gesso reaplicadas ao solo. Selvíria - MS, Brasil, 2015/16..... 31
- Figura 3** - Número de vagens por planta (A), massa de cem grãos (B) e produtividade de grãos de soja (C) em função do residual de doses de calcário reaplicadas ao solo. Selvíria - MS, Brasil, 2015/16..... 33
- Figura 4** - Teor foliar de N em função das doses de calcário (A) e gesso (B) reaplicados ao solo. Selvíria - MS, Brasil, 2016..... 36
- Figura 5** - Desdobramento da interação significativa entre doses de calcário e gesso (A e B) e para sistemas e doses de calcário (C) para os teores foliares de cálcio. Selvíria - MS, Brasil, 2016..... 37
- Figura 6** - Teor foliar de Mg em função das doses de gesso reaplicados ao solo (A) e desdobramento da interação significativa entre sistemas e doses de calcário (B). Selvíria - MS, Brasil, 2016..... 39
- Figura 7** - Teor foliar de S em função das doses de calcário reaplicados ao solo (A) e desdobramento da interação significativa entre sistemas e doses de gesso (B). Selvíria - MS, Brasil, 2016..... 40
- Figura 8** - Teores foliares de cobre (A), manganês (B) e zinco (C) em função das doses de calcário reaplicadas ao solo. Selvíria - MS, Brasil, 2015/16..... 43
- Figura 9** - Altura de plantas de milho em função das doses gesso reaplicadas ao solo. Selvíria - MS, Brasil, 2016..... 46
- Figura 10** - Número de fileiras por espiga de milho em função das doses calcário reaplicados ao solo. Selvíria - MS, Brasil, 2016..... 48
- Figura 11** - Desdobramento da interação significativa entre doses de calcário e gesso (A e B) para o número de grãos por fileira. Selvíria - MS, Brasil, 2016..... 49
- Figura 12** - Número de grãos por espiga em função das doses gesso reaplicados ao solo (A) e desdobramento da interação significativa entre sistemas e doses de calcário (B). Selvíria - MS, Brasil, 2016..... 50

Figura 13 - Desdobramento da interação significativa entre doses de calcário e gesso (A e B) e para sistemas e doses de calcário (C) para produtividade de grãos. Selvíria - MS, Brasil, 2016.....	51
Figura 14 - Desdobramento da interação significativa entre doses de calcário e gesso (A e B) e para sistemas e doses de calcário (C) para massa de matéria seca do milho (MMSM). Selvíria - MS, Brasil, 2016.....	55
Figura 15 - Desdobramento da interação significativa entre sistemas e doses de calcário para massa de matéria seca das coberturas da área (MMSC). Selvíria - MS, Brasil, 2016.....	57
Figura 16 - Desdobramento da interação significativa entre doses de calcário e gesso (A e B) e para sistemas e doses de calcário (C) para massa de matéria seca total produzida (MMST). Selvíria - MS, Brasil, 2016.....	59
Figura 17 - Desdobramento da interação significativa entre doses de calcário e gesso para os teores foliares de N. Selvíria - MS, Brasil, 2016/17.....	63
Figura 18 - Teores foliares de P em função das doses de calcário reaplicadas ao solo. Selvíria - MS, Brasil, 2015/16.....	64
Figura 19 - Desdobramento da interação significativa entre doses de calcário e gesso (A e B) para os teores foliares de Ca Selvíria - MS, Brasil, 2016/17.....	65
Figura 20 - Desdobramento da interação significativa entre sistemas e doses de calcário para teores foliares de Mg. Selvíria - MS, Brasil, 2016.....	67
Figura 21 - Teores foliares de S em função das doses de gesso reaplicadas ao solo. Selvíria - MS, Brasil, 2015/16.....	68
Figura 22 - Desdobramento da interação significativa entre doses de calcário e gesso (A e B) para os teores foliares de Cu. Selvíria - MS, Brasil, 2016/17.....	70
Figura 23 - Teores foliares de Fe (A) e Zn (B) em função das doses de calcário reaplicadas ao solo. Selvíria - MS, Brasil, 2015/16.....	71
Figura 24 - Desdobramento da interação significativa entre doses de calcário e gesso (A e B) para massa de matéria seca de parte aérea (MMSPA). Selvíria - MS, Brasil, 2016/17.....	74

Figura 25 - Desdobramento da interação significativa entre doses de calcário e gesso (A e B) para número de vagens por planta (NVP). Selvíria - MS, Brasil, 2016/17.....	76
Figura 26 - Desdobramento da interação significativa entre doses de calcário e gesso (A e B) para produtividade de grãos de soja. Selvíria - MS, Brasil, 2016/17.....	77
Figura 27 - Valores de pH (CaCl ₂) no solo nas camadas de 0-10 (A), 10-20 (B) e 20-40 (C) cm de profundidade em função da reaplicação de doses de calcário. Selvíria - MS, Brasil, 2017.....	81
Figura 28 - Desdobramento da interação significativa entre doses de calcário e gesso (A e B) para os valores de Al ⁺³ (mmol _c dm ⁻³) no solo na camada de 0-10 cm de profundidade. Selvíria - MS, Brasil, 2017.....	83
Figura 29 - Valores de Al ⁺³ (mmol _c dm ⁻³) no solo na camada de 10-20 (A) e 20-40 (B) cm de profundidade em função da reaplicação de doses de calcário. Selvíria - MS, Brasil, 2017.....	84
Figura 30 - Valores de H+Al (mmol _c dm ⁻³) no solo na camada de 0-10cm (A), desdobramento da interação entre sistemas e doses de calcário na camada de 10-20 cm (B) e valores de H+Al (mmol _c dm ⁻³) para a camada de 20-40 cm (C) de profundidade em função da reaplicação de doses de calcário. Selvíria - MS, Brasil, 2017.....	85
Figura 31 - Desdobramento da interação significativa entre doses de calcário e gesso (A e B) para os valores de Ca (mmol _c dm ⁻³) no solo na camada de 0-10 cm de profundidade. Selvíria - MS, Brasil, 2017.....	88
Figura 32 - Desdobramento da interação entre sistemas e doses de gesso na camada de 10-20 cm (A) e desdobramento da interação significativa entre doses de calcário e gesso (B e C) para os valores de Ca (mmol _c dm ⁻³) no solo na camada de 10-20 cm de profundidade. Selvíria - MS, Brasil, 2017.....	90
Figura 33 - Valores de Ca (mmol _c dm ⁻³) no solo na camada de 20-40 cm de profundidade em função da reaplicação de doses de calcário (A) e gesso (B). Selvíria - MS, Brasil, 2017.....	91
Figura 34 - Valores de Mg (mmol _c dm ⁻³) no solo na camada de 0-10 cm de profundidade em função da reaplicação de doses de calcário (A) e gesso (B). Selvíria - MS, Brasil, 2017.....	93

- Figura 35** - Valores de Mg ($\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$) no solo na camada de 10-20 cm de profundidade em função da reaplicação de doses de calcário (A) e gesso (B). Selvíria - MS, Brasil, 2017..... **94**
- Figura 36** - Desdobramento da interação entre sistemas e doses de gesso na camada de 20-40 cm (A) e desdobramento da interação significativa entre doses de calcário e gesso (B e C) para os valores de Mg ($\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$) no solo na camada de 20-40 cm de profundidade. Selvíria - MS, Brasil, 2017..... **95**
- Figura 37** - Desdobramento da interação entre sistemas e doses de calcário na camada de 0-10 (A), 10-20 (B) cm e valores de K ($\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$) no solo na camada de 20-40 cm (C) de profundidade em função das doses de calcário. Selvíria - MS, Brasil, 2017..... **97**
- Figura 38** - Desdobramento da interação entre sistemas e doses de calcário na camada de 0-10 cm (A) e desdobramento da interação significativa entre doses de calcário e gesso (B e C) para os valores de V (%) no solo na camada de 0-10 cm de profundidade. Selvíria - MS, Brasil, 2017..... **100**
- Figura 39** - Valores de V (%) no solo na camada de 10-20 cm de profundidade em função da reaplicação de doses de calcário. Selvíria - MS, Brasil, 2017..... **102**
- Figura 40** - Desdobramento da interação significativa entre doses de calcário e gesso (A e B) para os valores de V (%) no solo na camada de 20-40 cm de profundidade. Selvíria - MS, Brasil, 2017..... **103**
- Figura 41** - Valores de MO (g dm^{-3}) no solo na camada de 10-20 cm de profundidade em função da reaplicação de doses de calcário (A) e gesso (B). Selvíria - MS, Brasil, 2017..... **104**
- Figura 42** - Desdobramento da interação entre sistemas e doses de gesso na camada de 0-10 cm (A) e desdobramento da interação significativa entre doses de calcário e gesso (B e C) para os valores de S-SO₄²⁻ (mg dm^{-3}) no solo na camada de 0-10 cm de profundidade. Selvíria - MS, Brasil, 2017..... **105**
- Figura 43** - Desdobramento da interação significativa entre doses de calcário e gesso (A e B) para os valores de S-SO₄²⁻ (mg dm^{-3}) no solo na camada de 10-20 cm de profundidade. Selvíria - MS, Brasil, 2017..... **107**

- Figura 44** - Valores de $S-SO_4^{2-}$ ($mg\ dm^{-3}$) no solo na camada de 20-40 cm (A) de profundidade em função da reaplicação de doses de gesso e desdobramento da interação entre sistemas e doses de calcário na camada de 20-40 cm (B) de profundidade para os valores de $S-SO_4^{2-}$ ($mg\ dm^{-3}$) do solo. Selvíria - MS, Brasil, 2017..... **108**
- Figura 45** - Valores de Cu ($mg\ dm^{-3}$) no solo na camada de 0-10 cm de profundidade em função da reaplicação de doses de calcário. Selvíria - MS, Brasil, 2017.....**110**
- Figura 46** - Valores de Fe ($mg\ dm^{-3}$) no solo nas camadas de 0-10 (A), 10-20 (B) e 20-40 (C) cm de profundidade em função da reaplicação de doses de calcário. Selvíria - MS, Brasil, 2017..... **111**
- Figura 47** - Desdobramento da interação significativa entre doses de calcário e gesso (A e B) para os valores de Mn ($mg\ dm^{-3}$) no solo na camada de 0-10 cm de profundidade. Selvíria - MS, Brasil, 2017..... **113**
- Figura 48** - Valores de Mn ($mg\ dm^{-3}$) no solo nas camadas de 10-20 cm de profundidade em função da reaplicação de doses de calcário. Selvíria - MS, Brasil, 2017..... **114**
- Figura 49** - Desdobramento da interação significativa entre doses de calcário e gesso (A e B) para os valores de Zn ($mg\ dm^{-3}$) no solo na camada de 0-10 cm de profundidade. Selvíria - MS, Brasil, 2017..... **115**
- Figura 50** - Valores de Zn ($mg\ dm^{-3}$) no solo na camada de 10-20 (A) e 20-10 (B) cm de profundidade em função da reaplicação de doses de calcário. Selvíria - MS, Brasil, 2017..... **116**

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1** - Valores de F e médias encontradas para população final de plantas, altura de plantas e altura de inserção da primeira vagem de soja em função dos tratamentos. Selvíria - MS, Brasil, 2015/16..... **30**
- Tabela 2** - Valores de F e médias encontradas número de vagens por planta (NVP), massa de cem grãos (M100G) e produtividade de grãos (PROD) em função dos tratamentos. Selvíria - MS, Brasil, 2015/16..... **32**
- Tabela 3** - Valores de F e médias encontradas para os teores foliares de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S) do milho 2ª safra em função dos tratamentos. Selvíria - MS, Brasil, 2016.....**35**
- Tabela 4** - Valores de F e médias encontradas para os teores foliares de cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn) do milho 2ª safra em função dos tratamentos. Selvíria - MS, Brasil, 2016..... **42**
- Tabela 5** - Valores de F e médias para população final de plantas, altura de plantas, altura de inserção da espiga e prolificidade do milho 2ª safra em função dos tratamentos. Selvíria - MS, Brasil, 2016..... **45**
- Tabela 6** - Valores de F e médias de número de fileiras por espiga (NFE), número de grãos por fileira (NGF), número de grãos por espiga (NGE), massa de 100 grãos (M100G) e produtividade de grãos (PROD) do milho 2ª safra em função dos tratamentos. Selvíria - MS, Brasil, 2016..... **47**
- Tabela 7** - Valores de F e médias para massa de matéria seca do milho (MMSM), massa de matéria seca da cobertura do solo após o milho (MMSC) e massa de matéria seca total (MMST) em função dos tratamentos. Selvíria - MS, Brasil, 2016..... **54**
- Tabela 8** - Valores de F e médias encontradas para os teores foliares de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S) de soja em função dos tratamentos. Selvíria - MS, Brasil, 2016/17..... **62**
- Tabela 9** - Valores de F e médias encontradas para os teores foliares de cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn) de soja em função dos tratamentos. Selvíria - MS, Brasil, 2016/17..... **69**

Tabela 10 - Valores de F e médias encontradas para massa de matéria seca de parte aérea de soja (MMSPA), altura de plantas e altura de inserção da primeira vagem de soja em função dos tratamentos. Selvíria - MS, Brasil, 2016/17.....	73
Tabela 11 - Valores de F e médias encontradas para número de vagens por planta (NVP), massa de cem grãos (M100G) e produtividade (PROD) de grãos de soja em função dos tratamentos. Selvíria - MS, Brasil, 2016/17.....	75
Tabela 12 - Valores de F e médias encontradas para pH, alumínio trocável (Al) e acidez potencial (H + Al) do solo em diferentes profundidades em função dos tratamentos. Selvíria - MS, Brasil, 2017.....	79
Tabela 13 - Valores de F e médias encontradas para teores de cálcio (Ca), magnésio (Mg) e potássio (K) do solo em diferentes profundidades em função dos tratamentos. Selvíria - MS, Brasil, 2017.....	87
Tabela 14 - Valores de F e médias encontradas para saturação por bases (V%), teor de matéria orgânica (MO) e enxofre (S-SO ₄ ²⁻) do solo em diferentes profundidades em função dos tratamentos. Selvíria - MS, Brasil, 2017.....	99
Tabela 15 - Valores de F e médias encontradas para teores de cobre (Cu) e ferro (Fe) do solo em diferentes profundidades em função dos tratamentos. Selvíria - MS, Brasil, 2017.....	109
Tabela 16 - Valores de F e médias encontradas para teores de cobre (Cu) e ferro (Fe) do solo em diferentes profundidades em função dos tratamentos. Selvíria - MS, Brasil, 2017.....	112

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	15
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	17
2.1	SISTEMA PLANTIO DIRETO.....	17
2.2	ACIDEZ DO SOLO.....	18
2.3	CALAGEM EM SISTEMA DE PLANTIO DIERTO.....	19
2.4	FATORES QUE AFETAM A CORREÇÃO DA ACIDEZ DO SOLO EM APLICAÇÕES SUPERFICIAIS.....	20
2.5	APLICAÇÃO DE GESSO AGRÍCOLA EM SISTEMA DE PLANTIO DIRETO.....	21
3	MATERIAL E MÉTODOS.....	23
3.1	LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL.....	23
3.2	TRATAMENTOS E DELINEAMENTO EXPERIMENTAL.....	24
3.3	INSTALAÇÃO DO EXPERIMENTO.....	25
3.4	AVALIAÇÕES.....	26
3.4.1	Cultura do milho.....	26
3.4.2	Cultura da soja.....	27
3.4.3	Cultura da <i>Urochloa brizantha</i> cv. Marandu.....	28
3.4.4	Atributos químicos do solo.....	28
3.5	ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	28
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	30
4.1	CULTURA DA SOJA - SAFRA 2015/16.....	30
4.2	CULTURA DO MILHO - SAFRA 2016.....	34
4.3	CULTURA DA SOJA - SAFRA 2016/17.....	61
4.4	CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DO SOLO.....	78
5	CONCLUSÕES.....	117
	REFERÊNCIAS.....	118

1 INTRODUÇÃO

A acidez do solo é um dos fatores que mais limitam o desenvolvimento e reduz o potencial produtivo das culturas nas grandes regiões produtoras do Brasil, o cerrado. Os solos de regiões tropicais apresentam alto intemperismo, o que promove problemas de acidez, baixa capacidade de troca catiônica (CTC) e saturação de bases, além de apresentar altos teores de elementos tóxicos como o alumínio trocável (Al^{3+}) e o manganês (Mn^{2+}) (BOTTEGA et al., 2012). A limitação de nutrientes acarreta distúrbios fisiológicos nas plantas, afetando severamente seu rendimento produtivo. Neste sentido, a correção da acidez dos solos é fundamental para elevar sua capacidade produtiva (SORATTO et al., 2010; COSTA et al., 2015).

A calagem é uma prática essencial para que as culturas tenham condições adequadas para seu completo desenvolvimento, uma vez que esta operação tem a capacidade de neutralizar a acidez do solo, aumentar a disponibilidade de nutrientes, fornecer cálcio (Ca^{2+}) e magnésio (Mg^{2+}) e reduzir a toxidez por alumínio. Contudo, o sistema plantio direto (SPD) preconiza o não revolvimento do solo, dificultando a eficiência da calagem. Neste tipo de sistema produtivo, é necessário que a calagem seja feita em superfície no solo, sem que haja incorporação, porém, este método de aplicação ainda é muito questionado, devido à baixa solubilidade que o calcário tem em água.

Outro problema associado à aplicação superficial e a baixa mobilidade do calcário no solo, é a correção em subsuperfície, a qual limita o desenvolvimento radicular e a consequente absorção de água e nutrientes pelas plantas (CASTRO; CRUSCIOL, 2013), ou seja, a agricultura ainda é realizada sobre uma pequena camada do solo. Com isto, a lavoura fica susceptível a veranicos, podendo comprometer toda a produtividade ou até mesmo, ocorrer superdose de calcário em superfície, o que denota problemas de deficiência com micronutrientes catiônicos (TOSCANI; CAMPOS, 2017).

Neste contexto, a aplicação de gesso agrícola, um subproduto da produção ácido fosfórico, composto basicamente por sulfato de cálcio, é uma alternativa no fornecimento de Ca em profundidade e reduzir os teores de Al^{3+} , limitando seu efeito tóxico ao desenvolvimento radicular (SILVA et al., 2015). O gesso, portanto, vem sendo usado como um insumo complementar ao calcário, principalmente pelo fato do calcário apresentar baixa mobilidade no solo (CAIRES et al., 2011). Este insumo é utilizado pelo motivo de apresentar maior solubilidade, movimentando-se pelo perfil do solo, por meio da percolação com a água (CARVALHO et al., 2013). Em contrapartida, ainda se tem dúvidas quanto ao método e dose

de aplicação do gesso juntamente ao calcário para que haja maiores benefícios para o sistema, principalmente em regiões de Cerrado.

Visando aumento na eficiência destas práticas agronômicas, o uso de práticas culturais como rotação de culturas e a escolha de culturas que façam parte desta rotação, se torna indispensável. Culturas com sistemas radiculares distintos e que formem grande massa de raízes em várias profundidades no solo são preconizadas, uma vez que estas raízes ao se decomporem, formam canais os quais facilitam a descida dos insumos e corretivos pelo perfil do solo. Dessa forma, aumenta-se a velocidade de correção e disponibilização de nutrientes em camadas mais profundas. Outro benefício concomitante é o aumento da fauna edáfica no solo, devido à estabilidade que o sistema plantio direto vai adquirindo com o passar dos anos. Esses microorganismos contribuem para o aumento na eficácia dos corretivos e no aumento do potencial produtivo dos solos. A matéria orgânica proveniente da decomposição de material vegetal de ciclos anteriores também aumenta a disponibilidade de nutrientes e o equilíbrio do sistema.

Em função do exposto, o presente trabalho teve por objetivo estudar o comportamento do calcário e/ou gesso reaplicados em superfície, em solo argiloso com o sistema plantio direto consolidado, e seus reflexos nos atributos químicos do solo e nas culturas do milho solteiro e consorciado e soja em sucessão.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 SISTEMA PLANTIO DIRETO

O sistema plantio direto encontra-se como uma das melhores alternativas para o desenvolvimento de uma agricultura sustentável, reduzindo os prejuízos causados pela utilização agrícola do solo, garantindo assim, um eficiente controle de erosão (tanto hídrica, quanto eólica), aumentando a oferta de nutrientes e água às plantas, além de melhorar as condições químicas e físicas do solo, devido ao acúmulo de matéria orgânica e liberação de nutrientes das culturas antecessoras (NOGUEIRA et al., 2016). Dessa forma, a área cultivada com este sistema tem aumentando significativamente no Brasil nos últimos 20 anos. No último levantamento realizado no Brasil, a área correspondente ao plantio direto encontrava-se em torno de 31,8 milhões de hectares (FEBRAPDP, 2012), o que corresponde na safra 2016/17 a 53% da área cultivada com culturas produtoras de grãos (CONAB, 2017).

Atualmente, o conceito de plantio direto abrange não apenas o mínimo revolvimento do solo, mas também engloba conceitos de um sistema, o qual envolve a combinação de práticas culturais e/ou biológicas, como a formação de palhada por meio de culturas de interesse econômico e condicionadoras de solo, como os adubos verdes, mantendo o máximo de resíduos culturais sobre a superfície do solo; a combinação de espécies que apresentem características morfológicas e exigências nutricionais diferentes, para garantir uma rotação de culturas eficiente; adoção de manejos integrados que visem o controle de plantas daninhas por meio de cobertura morta e herbicidas, não havendo revolvimento do solo (HARASIM et al., 2016). Nesse intuito, a rotação de culturas se torna uma grande aliada ao sistema plantio direto, fazendo-se a inclusão de culturas produtoras de fitomassa, podendo ou não fornecer retorno econômico, porém, garantindo a saúde e sustentabilidade do sistema (NAKAO, 2016). Em um método que não há revolvimento do solo, a compactação pode ser um entrave ao aumento de produtividade, assim sendo, culturas com sistemas radiculares agressivos podem atenuar esses efeitos negativos, permitindo a continuidade do sistema (AMARAL et al., 2004).

O sucesso o plantio direto na dinâmica da produção agrícola, relaciona-se diretamente com a decomposição dos resíduos vegetais (COSTA et al., 2016). Por meio da ausência do revolvimento do solo, decomposição do material vegetal e da diversificação de culturas por meio da rotação, permite alterações nos atributos químicos, físicos do solo e biológicos do

solo, os quais irão refletir na fertilidade do solo e conseqüentemente na produtividade das culturas (ALMEIDA et al., 2016).

Dessa maneira, a busca por alternativas que permitam o estabelecimento e posterior aumento na produtividade das culturas vem aumentando a cada ano, uma vez que este sistema garante manutenção das características químicas e estruturais do solo, com maior controle da erosão, e com a economia com as operações de preparo do solo e incorporação de corretivos (SORATTO et al., 2010).

2.2 ACIDEZ DO SOLO

No Brasil, o Cerrado ocupa quase toda área central, apresentando cerca de 200 milhões de hectares, sendo que em sua maior parte, na região Centro-Oeste. Os solos presentes nestas áreas apresentam características de baixa fertilidade natural, o que promove interferência direta na disponibilidade de nutrientes para as plantas se desenvolverem e atingirem altas produtividades (BOTTEGA et al., 2012). Problemas como baixos valores de pH, elevados teores de alumínio e manganês trocáveis, baixas saturação por bases e teores baixos de fósforo são comumente relatados (SORATTO et al., 2010).

Os solos podem ser naturalmente ácidos, em função do seu material de origem, ação do intemperismo constante, característica de solos tropicais ou mediante manejo inadequado dos solos, levando à perda de bases trocáveis e, portanto, causando conseqüente acidificação (COSTA et al., 2015).

A acidificação do solo é um processo que consiste na lixiviação de cátions das camadas superficiais para as mais profundas, distanciando assim os nutrientes das raízes das culturas e até mesmo pela grande extração e exportação de nutrientes proveniente da colheita de grãos em cultivos sucessivos, sendo que a exportação de parte aérea em caso de silagem apresenta um potencial ainda maior no empobrecimento e acidificação do sistema (LEPSCH, 2010; ALMEIDA et al., 2016)

No processo de formação dos solos a partir da rocha matriz e decomposição da matéria orgânica do solo (MOS), íons são atraídos por estas, sendo à força de atração proporcional a valência do mesmo. Neste sentido, os íons Al^{3+} são fortemente atraídos pelas cargas negativas dos coloides do solo, ao passo que os demais cátions de menor valência, são atraídos com menor intensidade, aumentando as chances de lixiviação dos demais elementos em relação ao Al^{3+} . Esta é a razão que faz os solos tropicais terem muito alumínio e baixos teores de cálcio, magnésio, sódio e potássio na forma trocável (LEPSCH, 2010).

A nutrição de plantas está ligada e é dependente da fertilidade do solo, sendo focadas na capacidade de aquisição e assimilação de nutrientes pelas plantas. Os solos que apresentam reações ácidas são classificados como de baixa fertilidade, uma vez que as quantidades de nutrientes, principalmente o cálcio (Ca^{2+}), o magnésio (Mg^{2+}) e o fósforo (P) são limitantes e a presença do Al^{3+} impede o crescimento e absorção radicular, bem como as proteínas transportadoras presentes nas membranas das células (SILVA et al., 2015). Dessa maneira, ao Al^{3+} interfere não apenas na disponibilidade de nutrientes na camada arável do solo, mas também na absorção de nutrientes pelas raízes (ECCO et al., 2014).

2.3 CALAGEM EM SISTEMA DE PLANTIO DIRETO

A calagem é a prática mais comumente utilizada no âmbito de correção de acidez, aumento na disponibilidade de nutrientes, redução dos teores de elementos tóxicos e melhora as condições para o bom desenvolvimento radicular, propiciando aumento no potencial produtivo do solo (CAIRES et al., 2004). Este corretivo possui a capacidade de se dissociar em carbonato de cálcio e magnésio quando em contato com a água, sendo esse produto da dissolução reage com os coloides do solo, aumentando o pH, os teores de Ca e Mg e precipitam os elementos prejudiciais como o Al e o Mn (SORATTO et al., 2010).

Um dos grandes entraves na correção de acidez por calcário, é que sua reação é restrita a uma pequena área em torno do local de aplicação, ou seja, apresenta baixa mobilidade no solo devido sua baixa solubilidade, dessa forma, para obtenção de resultados satisfatórios, é necessário que seja realizado aplicação de calcário antecipadamente, de maneira uniforme e profunda (SILVA et al., 2015). Em contrapartida, em ambientes em que se faz uso do sistema plantio direto, o revolvimento do solo para que haja incorporação não é realizada, uma vez que esta prática altera as propriedades físicas do solo, reduzindo a porosidade, desestruturando os agregados e destruindo canais e galerias formadas por raízes e microrganismos do solo. Como consequência, há redução na infiltração de água e aumento no escoamento superficial, provocando erosões (COSTA et al., 2016).

No sistema plantio direto, a calagem assume um importante aspecto em função da necessidade da aplicação superficial no solo, sem que haja incorporação (CAIRES et al., 2004). Este fato, mesmo nos dias de hoje, ainda gera questionamentos sobre sua eficiência, uma vez que os corretivos de acidez do solo apresentam baixa solubilidade em água e, portanto, baixa mobilidade nas camadas do solo (CASTRO; CRUSCIOL, 2013). Dessa forma, assume-se que a atividade do calcário se dá nas camadas mais superficiais e de

maneira lenta, porém, deve-se ressaltar que a velocidade de reação do corretivo com o solo depende de fatores como dose utilizada, granulometria, precipitação pluvial e/ou irrigação, manejo da adubação, rotação de culturas e conseqüente aporte de MOS e características físicas e poder tampão do solo (MIRANDA et al., 2005). Dessa maneira, a eficiência da calagem superficial pode ser diferente em cada região e sistemas produtivos.

Outra vantagem adquirida em função do plantio direto é o acúmulo de matéria orgânica nas camadas mais superficiais do solo. Neste sentido, o alumínio, elemento este que limita a produção das culturas em solos de reação ácida, pode formar complexos com ligantes orgânicos de baixo peso molecular (citrato, malato, oxalato, nicotinamida) provenientes da MOS e de efluxo das raízes das plantas, fazendo com que haja redução da atividade e do potencial químico deste elemento prejudicial as plantas (RELLÁN-ÁLVAREZ et al., 2011). Logo, em solos no sistema plantio direto, ocorre elevação na capacidade de troca catiônica pelo aumento nos teores de MOS, disponibilizando maior oferta de cátions benéficos, o que propicia condições favoráveis para obtenção de altos rendimentos (CAIRES et al., 2004).

2.4 FATORES QUE AFETAM A CORREÇÃO DA ACIDEZ DO SOLO EM APLICAÇÕES SUPERFICIAIS

A movimentação do calcário para camadas mais profundas pode ser atribuída a vários fatores, sendo eles o deslocamento físico de partículas através de galerias formadas por raízes, por fendas no solo, que se originam de pontos de fraqueza, o qual o corretivo desce por percolação com a água e o pequeno revolvimento do solo na linha de semeadura, o qual permite a incorporação mais profunda do corretivo (RHEINHEIMER et al., 2000; SORATTO et al., 2010). Apenas estes fatores não permitem total entendimento sobre a eficiência da calagem superficial na correção de camadas mais profundas, sendo assim, outros fatores incidem diretamente sobre estas respostas. Neste tipo de sistema conservacionista, a atividade de microrganismos, meso e macrofauna do solo são intensas, sendo que estes organismos edáficos contribuem para a incorporação biológica do calcário, bem como na melhoria na fertilidade do solo pela decomposição e incorporação de matéria orgânica provinda do material vegetal na superfície do solo (VIANA et al., 2015; ALMEIDA et al., 2016) .

A formação de ácidos orgânicos hidrossolúveis provenientes de resíduos culturais permite que haja a lixiviação de elementos trocáveis da superfície para as camadas mais profundas, sendo este fator, um dos que mais contribuem para a melhoria da fertilidade da subsuperfície (SORATTO, et al., 2008).

No caso da ausência de correção do solo em profundidade, outros métodos devem ser estudados e incorporados ao sistema, para que haja uma maior eficiência do corretivo. Entre as possibilidades existentes, destacam-se o manejo adequado dos resíduos orgânicos provenientes dos ciclos de cultivos anteriores (AMARAL et al., 2004) e o uso de gesso agrícola, o qual permite a possibilidade de aumentar a saturação por bases no subsolo e reduzir os efeitos tóxicos do Al^{3+} (CAIRES et al., 2003).

2.5 APLICAÇÃO DE GESSO AGRÍCOLA EM SISTEMA DE PLANTIO DIRETO

Um dos entraves da produção agrícola nas regiões dos cerrados é a ausência de teores adequados de cálcio em subsuperfície, fato este que se torna mais grave na presença de toxidez de alumínio. O cálcio é um sinalizador do crescimento radicular, uma vez que faz parte de peptídeos hormonais responsáveis pelo alongamento celular (MATTOS et al., 2008), e na sua ausência em camadas mais profundas no solo, as raízes das plantas acabam por ficar superficiais e as mesmas mais susceptíveis a estresses hídricos, além de limitar a absorção de nutrientes (SORATTO; CRUSCIOL, 2008). A melhoria nas condições subsuperficiais do solo, pode ser um fator que propicie aumento na produtividade das culturas, principalmente em condições de déficit hídrico, muito comuns nas grandes áreas produtoras (SORATTO et al., 2010).

O gesso agrícola ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$) pode ter sua origem tanto da exploração de minérios de gipsita, quanto da reação do ácido sulfúrico com rocha fosfatada (COSTA et al., 2015). O gesso tem a capacidade de agir em dois fatores que limitam o desenvolvimento radicular das plantas, sendo eles, a alta disponibilidade de Al^{3+} e a deficiência de cálcio (CAIRES et al., 2004). O maior desenvolvimento deve-se a formação do íon $Al(SO_4)^+$ e a consequente redução nos teores deste elemento tóxico em profundidade (CARVALHO et al., 2013).

A utilização do gesso agrícola deve-se ao fato de sua maior solubilidade em relação ao calcário, sendo que dessa forma, sua movimentação no perfil do solo se dá de forma mais facilitada, percolando juntamente a água, assim, ocorre redução nos teores de alumínio no subsolo e fornecimento de cálcio em profundidade (CAIRES et al., 2011). Nesse contexto, o gesso vem sendo utilizado como produto complementar ao calcário. Segundo Carvalho et al. (2013), a mobilidade do mesmo deve-se a formação do ânion estável (SO_4^{2-}), o qual forma par íon neutro com o Ca^{2+} , sendo assim, arrastado para camadas mais profundas. Este mesmo íon (SO_4^{2-}), também possui a capacidade de formar uma associação com o Al^{3+} , formando

AlSO_4^+ , precipitando-o. Além destes benefícios, o gesso ainda é fonte de enxofre (S), elemento essencial para as plantas (ZAMBROSI et al., 2007).

Um dos problemas relacionado ao uso do gesso, encontra-se a alta capacidade de movimentação de bases trocáveis pelo perfil do solo, sendo que dessa forma, ocorre lixiviação de Mg^{2+} para camadas mais profundas do solo, diminuindo sua disponibilidade em camadas mais superficiais (CAIRES et al., 2011). Dessa maneira o gesso vem sendo utilizado em conjunto com o calcário ao invés de seu uso avulso (CAIRES, 2000). Porém, mesmo em conjunto com o calcário, dependendo da dose utilizada, a lixiviação de bases pode ser muito elevada (CAIRES et al., 2004).

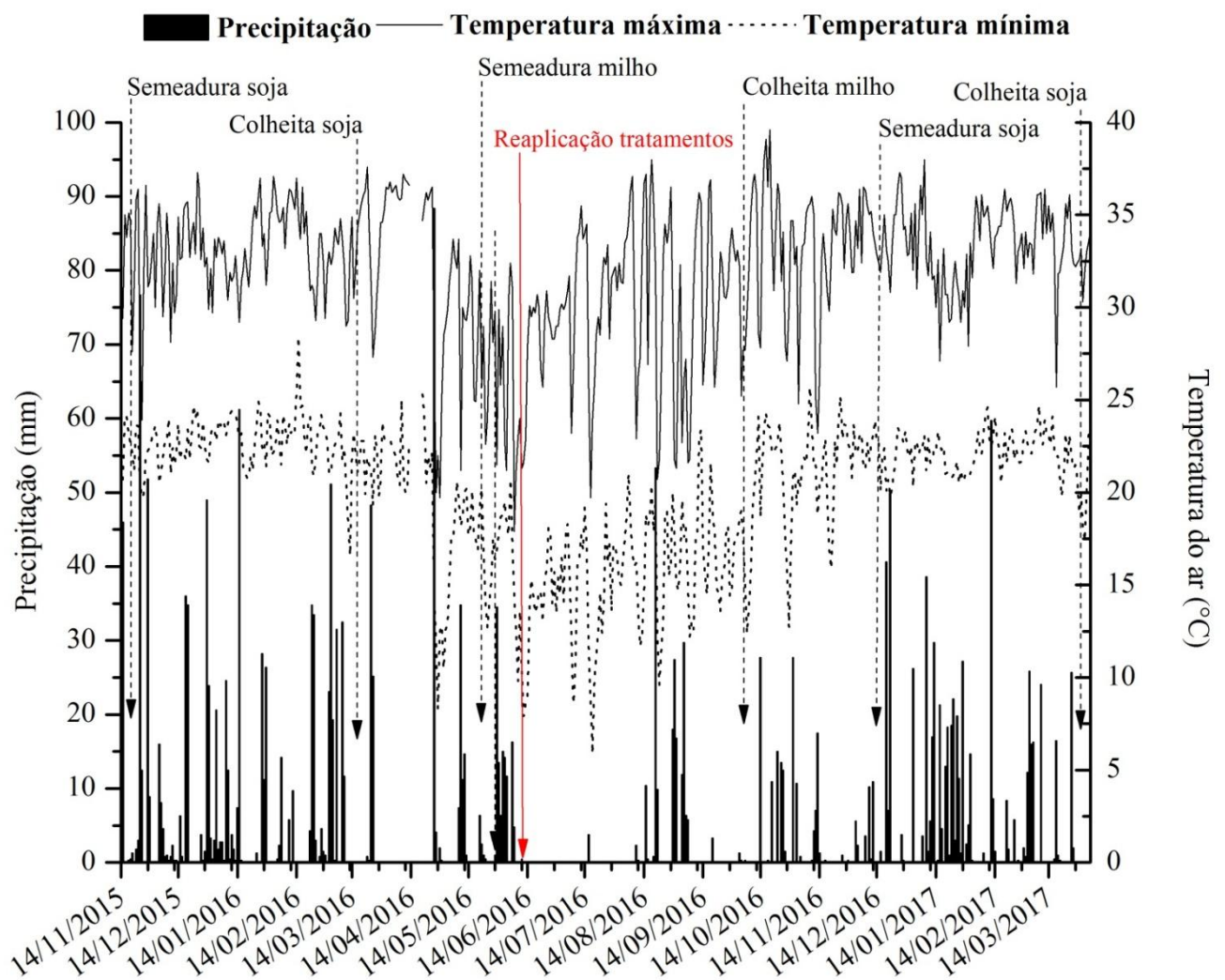
Visto estes possíveis gargalos na utilização do gesso agrícola, a substituição da calagem pelo gesso não tem sido recomendada, além de não se ter uma resposta concreta quanto sua eficiência em cada região e tipo de sistema de cultivo (SORATTO et al., 2010).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL

O experimento está sendo desenvolvido desde o ano de 2011 em área experimental pertencente à Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Engenharia, Ilha Solteira, SP, localizada no Município de Selvíria, MS, situada a 20°20'53" de Latitude Sul e 51°24'02" de Longitude Oeste, com a altitude de 335m, aproximadamente. O clima da região é do tipo Aw, definido como tropical úmido com estação chuvosa no verão e seca no inverno, apresentando temperatura e precipitação média anual de 25 °C e 1313 mm (média dos últimos 15 anos), respectivamente (Portugal et al., 2015). Os dados climáticos referentes ao período de condução do experimento encontram-se na Figura 1.

Figura 1 - Precipitação pluvial (mm), temperatura máxima e mínima do ar (°C) durante o período de condução do experimento. Selvíria - MS, Brasil, 2015-2017.



Fonte: Universidade Estadual Paulista- UNESP (2017).

Antes da instalação do sistema plantio direto (2008), na área que tem suplementação hídrica via pivô central, foi cultivado feijão de inverno mediante preparo de solo convencional (uma aração e duas gradagens) logo após correção do solo com calcário dolomítico a fim de se elevar a saturação por bases a 60%. Após o término do ciclo da cultura do feijão, na área experimental, foi cultivado com soja. Nos anos agrícolas 2009/10 e 2010/11 foram cultivados milho/soja e milho/soja, respectivamente. Nos anos agrícolas 2011/12, 2012/13, 2013/14, 2014/15 e 2015/16 foram cultivadas as seguintes culturas no período de outono-inverno e primavera-verão: milho (aplicação das doses de calcário e gesso)/soja, feijão/milho, milho/soja, feijão (reaplicação das doses de calcário e gesso)/milho e milho/soja, respectivamente.

O presente trabalho é a continuidade de um estudo iniciado no ano agrícola 2011/12, mantendo-se os mesmos tratamentos de calagem e gessagem, no SPD com rotação/sucessão de culturas. Na safra agrícola 2016/17, foram reaplicadas as doses de calcário e gesso sobre a cultura de outono-inverno. O solo da área experimental de acordo com a nomenclatura atual é um LATOSSOLO VERMELHO distrófico típico argiloso (LVd) (EMBRAPA, 2013). Previamente à instalação do experimento em campo, foi realizada amostragem do solo na camada de 0–0,20 m para análise química, cujos resultados foram: P (resina): 8 mg dm^{-3} , MO: 24 g dm^{-3} , pH (CaCl_2): 4,7, K: $1,5 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$, Ca: $12 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$, Mg: $9 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$, H+Al: $34 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$, SB: $22,5 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$, CTC: $56,5 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$, V%: 39,8, Cu: $0,9 \text{ mg dm}^{-3}$, Fe: 26 mg dm^{-3} , Mn: $42,4 \text{ mg dm}^{-3}$ e Zn: $0,8 \text{ mg dm}^{-3}$. Na análise de textura do solo nas camadas de 0-0,20 e 0,20-0,40 m, os resultados foram: 484 e 525 g kg^{-1} para os teores de argila, 100 e 101 g kg^{-1} para os teores de silte e 416 e 374 g kg^{-1} para os teores de areia, respectivamente.

3.2 TRATAMENTOS E DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

A primeira parte do experimento é proveniente do efeito residual da reaplicação de calcário e/ou gesso de 2014. Foi avaliada a cultura da soja, sendo que para tal o delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso em esquema de parcelas subdivididas, com quatro repetições. Nas parcelas estava condicionados as doses de calcário nas subparcelas, as doses de gesso. Para o ano de 2016, houve uma subdivisão das subparcelas anteriores, portanto, a partir deste ano, o experimento passou a ser considerado em delineamento experimental em blocos ao acaso em esquema de parcelas sub-subdivididas, com quatro

repetições. As parcelas apresentaram 14 metros de largura e 40 metros de comprimento, perfazendo uma área total de 560 m². Como tratamentos nas parcelas, foi instalado o milho em dois sistemas de cultivo, sendo eles, solteiro e consorciado com *Urochloa*. Para as subparcelas foram utilizados quatro doses de calcário (0; 2000; 4000 e 6000 kg ha⁻¹) e quatro doses de gesso (0; 1500; 3000 e 4500 kg ha⁻¹) distribuídas simultaneamente ao acaso nas sub-subparcelas. Neste sentido, cada subsubparcela teve por dimensão 10 metros de comprimento, por 3,5 m de largura, totalizando uma área de 35 m² cada. Foi realizada uma amostragem do calcário e do gesso previamente aos cálculos, onde determinou-se o teor de água nestes insumos para aplicação correta da quantidade, considerando-os com 0% de teor de água. As características físicas e químicas dos insumos utilizados são PRNT: 85%, CaO: 40%, MgO: 10,0% para o calcário e Ca: 22% e S: 17% para o gesso.

3.3 INSTALAÇÃO DO EXPERIMENTO

No dia 15 de novembro de 2015 foi instalada a cultura da soja. A variedade de soja utilizada foi a BMX Potência RR com 17,2 sementes m⁻¹ de sulco (82% de germinação) e espaçamento de 0,45 m entre linhas, visando uma população final de aproximadamente 306.000 plantas ha⁻¹. Utilizou-se 300 kg ha⁻¹ do formulado 00-20-10. O tratamento e inoculação das sementes e manejo fitossanitário foram realizados de acordo com a Embrapa (2010). O florescimento se deu aos 45 dias após a semeadura (DAS) e a colheita realizada no dia 16 de março de 2017 (123 DAS).

A semeadura do milho foi realizada em 24 de maio de 2016. Foi utilizado o híbrido triplo DKB 350 PRO, no espaçamento entrelinhas de 0,45 m, com uma população esperada de 65000 plantas por hectare (3,7 sementes m⁻¹) considerando uma germinação de 80%. A adubação de semeadura foi baseada na análise de solo previamente retirada da área experimental, constituída por 250 kg ha⁻¹ da formulação 08-28-16 (RAIJ et al., 1997). A semeadura da *Urochloa brizantha* cv. Marandu utilizada para o consórcio ocorreu simultaneamente à do milho, com utilização da terceira caixa da semeadora, específica para tal finalidade. Desta forma, as sementes foram aplicadas à lança e incorporadas pela movimentação do solo na linha de semeadura, efetuado pela semeadora-adubadora. Foi utilizado 12 kg de sementes ha⁻¹ levando em conta um valor cultural de 34%.

A emergência do milho e da *Urochloa brizantha* cv. Marandu ocorreu aos 6 e 9 dias após a semeadura (DAS) respectivamente. No dia 14 de junho de 2016, 15 dias após emergência (DAE), foi realizada a reaplicação das doses de calcário e/ou gesso em superfície

sobre a cultura já instalada, assim, não ocorrendo o risco de ocorrer contaminação pelo rodado do trator no ato da semeadura. A adubação de cobertura foi realizada por ocasião da 4ª folha expandida (estádio V₄ da cultura) no dia 01 de julho de 2016, ou seja, aos 32 (DAE). A adubação nitrogenada utilizada foi 150 kg ha⁻¹, utilizando-se como fonte de nitrogênio a ureia (45% de N). A adubação foi realizada manualmente e após aplicação do adubo foi realizada uma irrigação via pivô central, aplicando-se uma lâmina de água com aproximadamente 10 mm, para diminuir as perdas por volatilização. O manejo fitossanitário foi realizado de acordo com as necessidades da cultura. A colheita do milho foi realizada no dia 8 de outubro de 2016 (137 DAE).

Aproximadamente 55 dias após a colheita do milho, no dia 2 de dezembro de 2016, a área foi manejada quimicamente pela utilização de herbicidas e 12 dias após a dessecação (14 de dezembro de 2016), foi feito o manejo mecânico das plantas com triturador horizontal (Triton[®]), e logo em seguida, realizada a semeadura da soja. A variedade de soja utilizada foi a BMX Potência RR com 16,2 sementes m⁻¹ de sulco (85% de germinação) e espaçamento de 0,45 m entre linhas, visando uma população final de aproximadamente 306.000 plantas ha⁻¹. A semeadura foi realizada sobre a palhada remanescente do milho solteiro e consorciado, a fim de se estudar o efeito residual dos tratamentos antecedentes. Utilizou-se 300 kg ha⁻¹ do formulado 00-20-10. O tratamento e inoculação das sementes e manejo fitossanitário foram realizados de acordo com a Embrapa (2010). O florescimento da cultura se deu no dia 30 de janeiro de 2017, aproximadamente 46 DAS. A colheita se deu no dia 4 de abril de 2017, cerca de 120 DAS.

3.4 AVALIAÇÕES

3.4.1 Cultura do milho

a) Foi avaliado o estado nutricional das plantas (N, P, K, Ca, Mg, S, Cu, Fe, Mn e Zn foliar) mediante os diversos tratamentos, sendo as folhas coletadas quando as plantas estiverem no estágio fenológico R₁ (início do florescimento). O terço médio da folha da espiga foi coletado e devidamente identificado, em seguida foi levado à estufa de circulação de ar forçado. O material foi moído em moinho tipo “Willey” e acondicionada em sacos plásticos que depois de fechados e identificados foram levados para determinação dos macronutrientes, conforme metodologia descrita por Malavolta, Vitti e Oliveira (1997).

- b) Altura de plantas na maturação, realizada utilizando-se uma régua graduada em centímetros, medindo do colo da planta até a inserção da folha “bandeira”.
- c) Altura de inserção de espiga na maturação, realizada utilizando-se uma régua graduada em centímetros, medindo do colo da planta até a espiga principal;
- d) Prolificidade das plantas de milho da área útil da parcela, determinado como a relação entre o número de espigas por planta;
- e) População de plantas ha^{-1}
- f) Produtividade de massa de matéria seca por ha^{-1} , mensurada no momento anterior a colheita, com exceção dos grãos.

- Foram coletadas 10 espigas de milho na ocasião da colheita para as seguintes avaliações:

- g) Comprimento da espiga, determinado do ápice até a base da espiga;
- h) Número de fileiras por espiga, obtido em função da relação do número de fileiras de grãos em cada espiga;
- i) Número de grãos por fileira de espiga, determinado em função da relação entre o número de grãos em cada fileira da espiga;
- j) Massa de 100 grãos, determinada em balança de precisão 0,01g, a 13% (base úmida);
- k) Produtividade de grãos, determinada pela coleta das espigas das plantas contidas nas 2 linhas úteis de cada parcela. Após a trilha mecânica, os grãos foram quantificados e os dados transformados em kg ha^{-1} a 13% (base úmida);

3.4.2 Cultura da soja

- a) Foi avaliado o estado nutricional das plantas (N, P, K, Ca, Mg, S, Cu, Fe, Mn e Zn foliar) mediante os diversos tratamentos, sendo as folhas coletadas quando as plantas estiverem no estágio fenológico R_1 (início do florescimento). A terceira folha trifoliada do ápice para a base foi coletada e devidamente identificada, em seguida foi levada à estufa de circulação de ar forçado. O material foi moído em moinho tipo “Willey” e acondicionada em sacos plásticos que depois de fechados e identificados foram levados para determinação dos macronutrientes, conforme metodologia descrita por Malavolta, Vitti e Oliveira (1997) - (Realizada apenas para a soja após a reaplicação de calcário e gesso).
- b) Altura de plantas na colheita, realizada utilizando-se uma régua graduada em centímetros, medindo do colo da planta até o ápice da planta;

- c) Altura de inserção da primeira vagem, realizada utilizando-se uma régua graduada em centímetros, medindo do colo da planta até a primeira vagem;
- d) População de plantas ha⁻¹;
- e) Número de vagens por planta;
- f) Massa de 100 grãos, determinada em balança de precisão 0,01g, a 13% (base úmida);
- g) Produtividade de grãos, determinada pela coleta das plantas contidas nas 2 linhas úteis de cada parcela. Após a trilha mecânica, os grãos foram quantificados e os dados transformados em kg ha⁻¹ a 13% (base úmida);

3.4.3 Cultura da *Urochloa brizantha* cv. Marandu

No momento que antecede a dessecação da área para a entrada da soja, uma amostra da *Urochloa* foi retirada utilizando-se um quadrado de 1,0 x 0,5 m. Cortou-se as plantas junto ao solo, e as mesmas foram acondicionadas em sacos de juta e colocadas em estufa a 65-70°C, até atingiram peso constante para ser pesadas. Os dados foram utilizados para se calcular a massa de matéria seca produzida, convertendo os valores para kg ha⁻¹.

3.4.4 Atributos químicos do solo

Foram realizadas amostragens estratificadas do solo ao final do ciclo da cultura do milho e da soja, nas camadas de 0-0,10, 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m de profundidade. Foram retiradas aleatoriamente 5 amostras simples, na área útil de cada parcela, para constituir uma amostra composta, sempre na entrelinha da cultura presente na área, com a utilização de trado tipo sonda. As amostras compostas foram secadas ao ar e peneiradas (malha 2 mm). Posteriormente foram submetidas à análise para determinação do pH (CaCl₂ 0,01 mol L⁻¹), Al, acidez potencial (H+Al), Ca, Mg e K trocáveis e, calculada a saturação por bases (V%), V matéria orgânica, S-SO₄²⁻, Cu, Fe, Zn e Mn, conforme metodologia proposta por Raij (2011).

3.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os resultados foram submetidos ao teste de outliers e em seguida de normalidade de Anderson-Darling, e para avaliar a homogeneidade aplicou-se o teste de Leven's pelo programa estatístico Minitab®. Em seguida, foram submetidos à análise de variância individual ANOVA pelo teste F ($p \leq 0,05$), e quando houve diferença significativa, as médias

foram comparadas pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$) para o fator qualitativo (sistemas) e análise de regressão polinomial ($p \leq 0,05$) para os fatores quantitativos (doses de calcário e gesso). A análise foi realizada utilizando o software AGROESTAT®. Os gráficos foram confeccionados pelo programa SigmaPlot® 12.5.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 CULTURA DA SOJA - SAFRA 2015/16

Com exceção do componente altura de plantas, não houve influência significativa de nenhum dos tratamentos para população final de plantas e altura de inserção da primeira vagem (Tabela 1).

Tabela 1 - Valores de F e médias encontradas para população final de plantas, altura de plantas e altura de inserção da primeira vagem de soja em função dos tratamentos. Selvíria - MS, Brasil, 2015/16.

TRATAMENTOS	População final (plantas ha ⁻¹)	Altura de plantas ----- (cm) -----	Inserção -----
CALCÁRIO kg ha⁻¹ (C)			
0	233.331	103,19	15,07
2000	240.506	103,78	14,87
4000	241.664	103,50	16,23
6000	244.904	101,83	14,37
GESSO kg ha⁻¹ (G)			
0	238.192	102,81	14,31
1500	241.664	103,42	15,89
3000	241.201	106,30	15,29
4500	239.349	99,77	15,03
<i>Teste F</i>			
C	0,890 ^{ns}	0,348 ^{ns}	0,612 ^{ns}
G	0,098 ^{ns}	3,361 [*]	0,421 ^{ns}
C x G	1,741 ^{ns}	1,220 ^{ns}	0,402 ^{ns}
Média geral	240.101	103,07	15,13
RL calcário	0,012 ^{ns}	0,441 ^{ns}	0,027 ^{ns}
RQ calcário	1,512 ^{ns}	0,597 ^{ns}	0,679 ^{ns}
RL gesso	0,017 ^{ns}	0,910 ^{ns}	0,122 ^{ns}
RQ gesso	0,264 ^{ns}	5,984 ^{**}	0,831 ^{ns}
CV (%)	8,62	5,67	26,66

Nota: Médias seguidas de letra iguais, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

** significativo p<0,01; * significativo 0,01<p<0,05; ns: não significativo

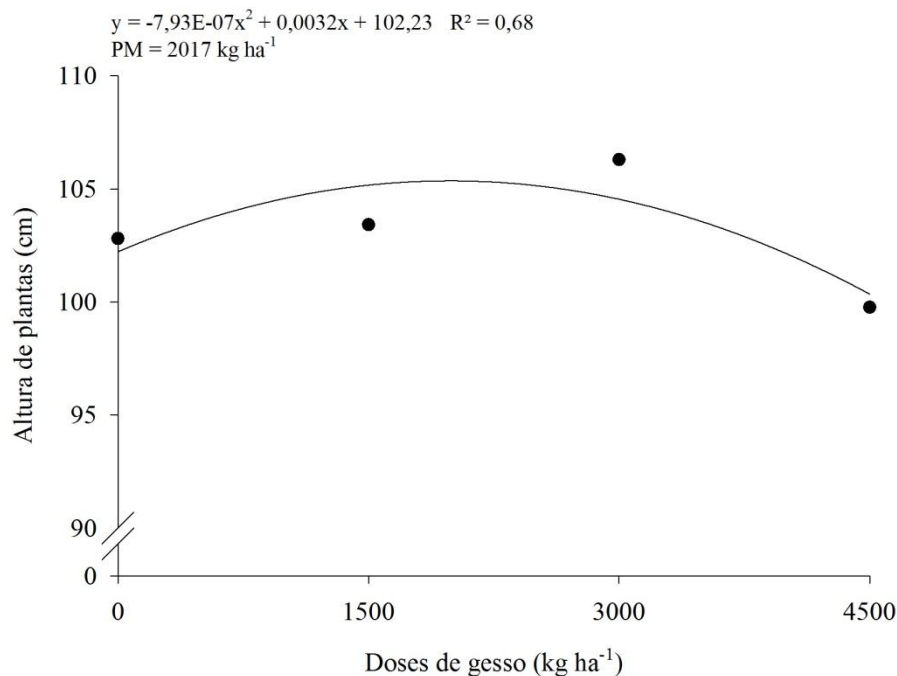
Fonte: Dados do próprio autor.

A germinação e estabelecimento das plantas de soja em campo, independente do tratamento empregado, foram semelhantes, porém, inferiores ao recomendado para o material empregado (300.000 plantas ha⁻¹), porém, segundo Sedyama et al. (2015), a média geral dentre os genótipos varia entre 200.000 e 350.000 plantas ha⁻¹, sendo que nesta faixa, é possível obter-se produtividades satisfatórias sem que haja grandes alterações de rendimento. A maior diferença de população observada entre os tratamentos foi de 11.575 plantas ha⁻¹. No

entanto, a maior parte dos genótipos encontrados no mercado apresenta grande plasticidade quanto à resposta à variação no arranjo espacial de plantas, variando o número de ramificações e de vagens por planta, sendo esta característica conhecida por fator compensatório (BÜCHLING et al., 2017; GARCIA et al., 2007; MAUAD et al., 2010; SEDIYAMA; SILVA, 2015).

A altura de plantas de soja foi influenciada significativamente pelo efeito residual das doses de gesso (Figura 2). As médias ajustaram-se a uma equação quadrática, obtendo dose de máxima eficiência técnica (DMET) de 2017 kg ha⁻¹ de gesso e altura máxima de 105,4 cm.

Figura 2 - Altura de plantas de soja em função do residual de doses de gesso reaplicadas ao solo. Selvíria - MS, Brasil, 2015/16.



Fonte: Dados do próprio autor.

O gesso atua sobre dois fatores que impedem ou dificultam o desenvolvimento radicular das plantas: o excesso de alumínio e a deficiência de cálcio (RAIJ et al., 2011). O gesso atuando nestes dois fatores, principalmente em profundidade, que é característica marcante do gesso devido sua maior solubilidade, garante maior desenvolvimento radicular e, conseqüentemente maior aproveitamento de água e nutrientes. O Al atua negativamente em diversos processos fisiológicos da planta, tais como inibição da síntese de DNA e divisão celular, inibição do crescimento radicular e alterações na absorção de outros nutrientes e balanço nutricional da planta (MACHADO, 1997).

Em vista destes fatores, a menor disponibilidade deste elemento tóxico permite maior desenvolvimento das plantas, como em altura, por exemplo. Cabe ressaltar que altas doses de gesso promovem aumento na lixiviação de bases trocáveis por formarem pares iônicos, portanto, é necessário cuidado quanto a dose, sistema de cultivo e solo (CAIRES et al., 2003; SORATTO et al., 2010).

Em relação à altura de inserção da primeira vagem, a mesma não foi influenciada pelo efeito residual das aplicações de calcário e/ou gesso, apresentando uma média 15 cm de altura (Tabela 1). Esta característica é de suma importância, pois determina a regulagem da altura da barra de corte da colhedora, visando obter a alta eficiência no processo de colheita, que de acordo com Sedyama e Silva (2015), a altura mínima da planta e inserção da primeira vagem devem ser de aproximadamente 60 e 12 cm, respectivamente. Estes autores justificam que plantas de soja com altura inferior a 60 cm predispõem a formação de vagens muito rente ao solo, dificultando a colheita e aumentando as perdas.

O efeito residual dos insumos utilizados em 2014, em específico o calcário, proporcionou efeitos significativos para os fatores reprodutivos da cultura da soja (Tabela 2).

Tabela 2 - Valores de F e médias encontradas número de vagens por planta (NVP), massa de cem grãos (M100G) e produtividade de grãos (PROD) em função dos tratamentos. Selvíria - MS, Brasil, 2015/16.

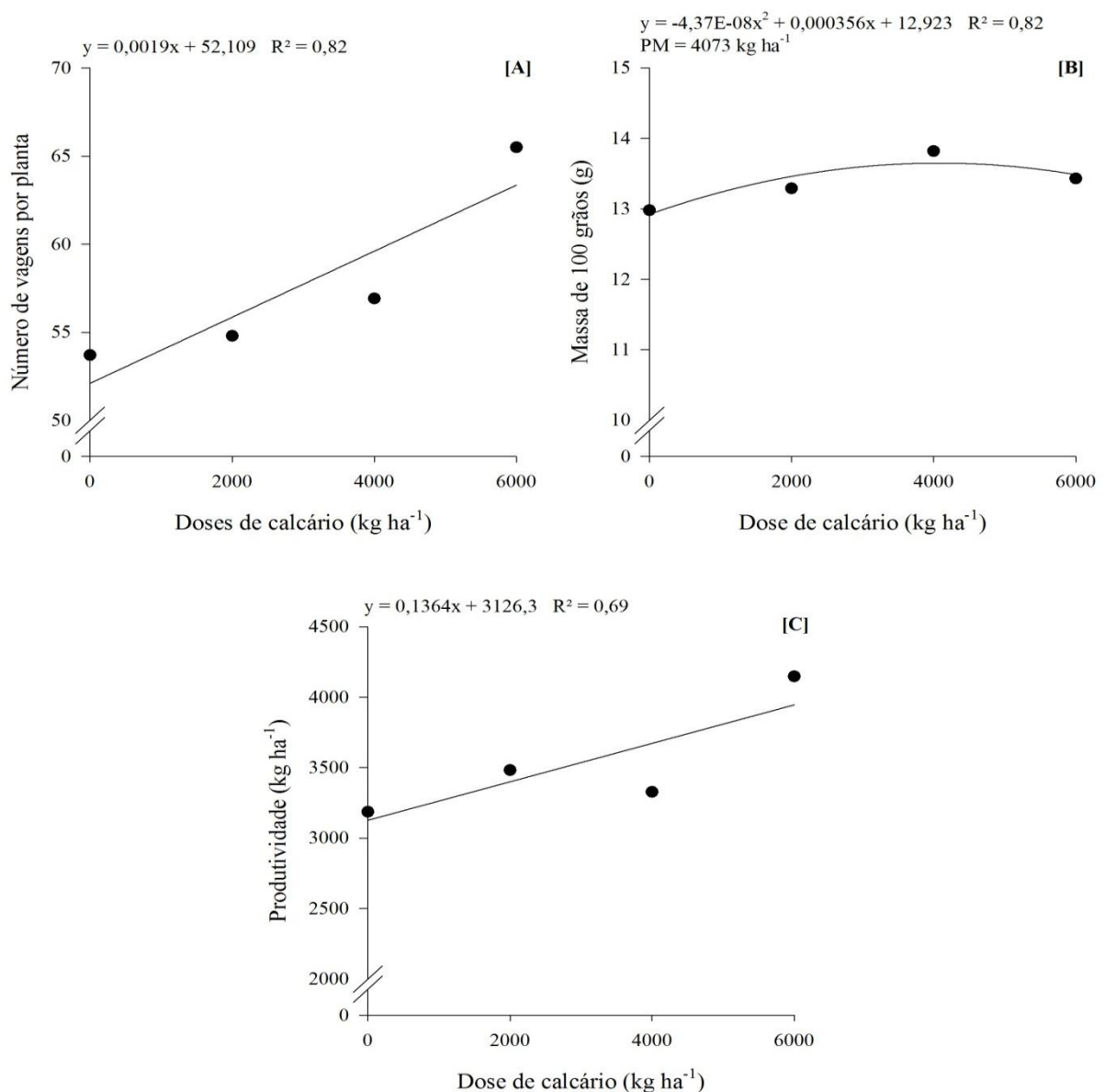
TRATAMENTOS	NVP	M100G (g)	PROD (kg ha ⁻¹)
CALCÁRIO kg ha⁻¹ (C)			
0	53,71	12,98	3186
2000	54,80	13,29	3482
4000	56,92	13,82	3327
6000	65,50	13,43	4147
GESSO kg ha⁻¹ (G)			
0	53,45	13,36	3207
1500	59,34	13,49	3715
3000	58,61	13,34	3599
4500	59,50	13,33	3620
<i>Teste F</i>			
C	4,829 **	5,784 **	5,349 **
G	1,400 ns	0,258 ns	1,494 ns
C x G	1,268 ns	1,403 ns	1,562 ns
Média geral	57,73	13,38	3535
RL calcário	11,877 **	1,548 ns	11,012 **
RQ calcário	2,362 ns	5,786 **	2,029 ns
RL gesso	2,566 ns	0,135 ns	1,870 ns
RQ gesso	1,060 ns	0,231 ns	1,756 ns
CV (%)	16,84	4,32	20,80

Nota: Médias seguidas de letra iguais, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. ** significativo $p < 0,01$; * significativo $0,01 < p < 0,05$; ns: não significativo

Fonte: Dados do próprio autor.

Quanto ao número de vagens por plantas, verificou-se que houve ajuste significativo das doses de calcário, enquadrando-se em uma equação linear crescente, obtendo o valor máximo de 63,5 vagens por planta, na maior dose do corretivo (Figura 3A). Para massa de cem grãos e produtividade de grãos, o calcário também influenciou de maneira isolada e significativa. As médias de massa de cem grãos ajustaram-se a uma equação quadrática, apresentando DMET de 4073 kg ha⁻¹ de calcário, com um valor máximo de 13,65 g (Figura 3B). A produtividade de grãos aumentou linearmente mediante acréscimo nas doses de calcário, apresentando produtividade máxima de 3945 kg ha⁻¹ (Figura 3C).

Figura 3 - Número de vagens por planta (A), massa de cem grãos (B) e produtividade de grãos de soja (C) em função do residual de doses de calcário reaplicadas ao solo. Selvíria - MS, Brasil, 2015/16.



Fonte: Dados do próprio autor.

Após dois anos de aplicação do calcário, o efeito residual do mesmo sobre pH, indisponibilidade de elementos tóxicos (Al^{+3} e Mn^{+2}) e fornecimento de nutrientes (macro e micro) foram essenciais para melhor desempenho reprodutivo da cultura, principalmente nas maiores doses. Este fato pode estar associado a maior durabilidade dos efeitos benéficos do corretivo ao solo quando aplicados em altas dosagens. Em ambiente tropical (altas temperaturas e pluviosidade durante o verão e, também a irrigação suplementar via pivô) pode haver uma maior reatividade do mesmo, justificando maiores doses. A alta pressão exercida por cultivos sucessivos pode acarretar um esgotamento dos efeitos destes insumos mais rapidamente.

A decomposição periódica do material orgânico sobre a superfície proveniente dos cultivos favorece a acidificação do solo, uma vez que por ação contínua, os microrganismos degradam o material orgânico em ácidos orgânicos, dióxido de carbono e água (CAIRES et al., 2003; SORATTO, 2005).

A aplicação superficial de doses mais altas de calcário, principalmente, pode ser uma alternativa viável para cultivos em longo prazo, sem que haja a necessidade de recorrer a novas aplicações em curto período de tempo. Em regiões tropicais, o intemperismo químico associado à decomposição da matéria orgânica e uso intensivo do solo são fatores que influenciam nesta maior necessidade.

4.2 CULTURA DO MILHO - SAFRA 2016

Observa-se que houve efeito significativo dos fatores causais estudados de maneira isolada quanto aos teores de N foliar (Tabela 3). Em relação ao efeito do sistema, nota-se que o cultivo do milho em consórcio proporcionou teores de N foliar superiores em relação ao cultivo solteiro, apresentando 32,00 e 31,29 g kg^{-1} respectivamente, porém, ambos os teores estão dentro da faixa considerada de suficiência para a cultura do milho (27,5-32,5 g kg^{-1}) (Malavolta et al., 1997). O cultivo consorciado proporcionou maior teor de N em relação ao solteiro uma vez que as *Urochloas* em geral, (destaque para *U. humidicola*), apresentam um composto inibidor da nitrificação biológica (Subbarao et al., 2009). Estes pesquisadores conseguiram isolar das raízes de *U. humidicola* o composto inibidor da nitrificação dominante, o qual é responsável por 60-90% da atividade supressora da *U. humidicola* na nitrificação. Este composto foi denominado “Brachialactone” e atua na supressão da atividade

das Nitrossomonas (JONES, 2013). Devido à ação inibitória deste composto, mesmo que em menor expressão na *Urochloa brizantha* cv. Marandu, a adubação nitrogenada em cobertura pode ter tido maior aproveitamento, reduzindo perdas e garantindo um maior suprimento deste elemento para a cultura do milho. Ainda, devido à redução da nitrificação, predomina-se no solo o nitrogênio na forma de NH_4^+ , o qual é absorvido pelas plantas com menor consumo de ATP em função da diminuição da redução assimilatória do nitrato (SUBBARAO et al., 2015).

Tabela 3 - Valores de F e médias encontradas para os teores foliares de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S) do milho 2ª safra em função dos tratamentos. Selvíria - MS, Brasil, 2016.

TRATAMENTOS	N	P	K	Ca	Mg	S
	----- (g kg ⁻¹) -----					
SISTEMA (S)						
Solteiro	31,29 b	2,80	24,86	3,86	3,39	1,66
Consoiciado	32,00 a	2,79	24,76	4,81	3,53	1,78
CALCÁRIO (kg ha⁻¹) (C)						
0	30,47	2,79	24,51	3,96	3,40	1,67
2000	32,11	2,80	24,96	4,47	3,41	1,73
4000	32,10	2,80	25,72	4,99	3,60	1,78
6000	31,91	2,77	24,05	3,93	3,44	1,69
GESSO (kg ha⁻¹) (G)						
0	31,32	2,80	24,04	3,88	3,38	1,63
1500	31,67	2,77	26,12	4,61	3,51	1,71
3000	32,28	2,79	25,36	4,60	3,52	1,82
4500	31,33	2,81	23,72	4,26	3,44	1,71
Teste F						
S	8,78 **	0,36 ns	0,03 ns	2,74 ns	24,38 **	38,23 **
C	11,13 **	0,43 ns	1,53 ns	30,20 **	10,41 **	6,69 **
G	3,65 *	0,84 ns	2,10 ns	14,21 **	5,15 **	16,15 **
S x C	0,47 ns	0,29 ns	1,56 ns	4,50 **	3,14 **	0,87 ns
S x G	0,58 ns	0,32 ns	2,17 ns	1,35 ns	2,68 ns	5,62 **
C x G	1,47 ns	1,91 ns	1,32 ns	5,25 **	2,03 ns	1,49 ns
S x C x G	1,44 ns	0,93 ns	1,88 ns	1,02 ns	1,67 ns	1,86 ns
Média geral	31,64	2,79	24,81	4,33	3,46	1,72
RL calcário	16,47 **	0,51 ns	0,05 ns	1,09 ns	5,11 **	1,33 ns
RQ calcário	15,04 **	0,38 ns	1,41 ns	74,67 **	8,54 **	16,81 **
RL gesso	0,33 ns	0,54 ns	0,45 ns	7,96 **	2,61 ns	15,57 **
RQ gesso	7,68 **	1,58 ns	1,39 ns	34,16 **	12,81 **	23,75 **
CV (%) subparcela	4,24	3,67	9,29	11,87	4,66	6,25

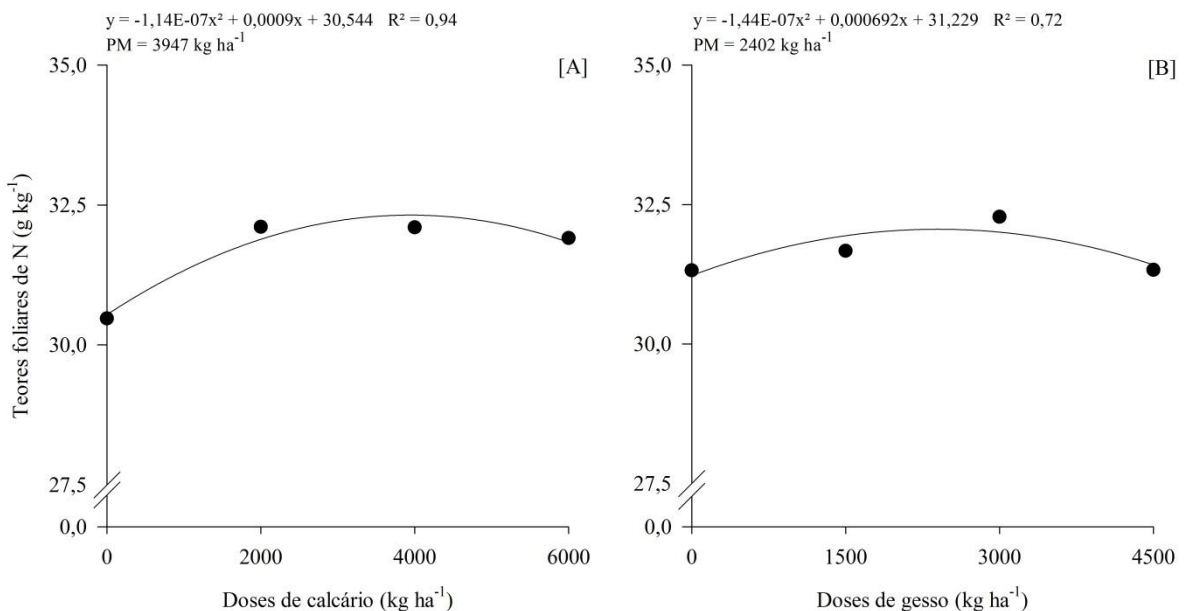
Nota: Médias seguidas de letra iguais, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

** significativo $p < 0,01$; * significativo $0,01 < p < 0,05$; ns: não significativo

Fonte: Dados do próprio autor.

Quanto ao calcário e ao gesso, as médias se ajustaram a equações quadráticas (Figura 4A e B). Para o calcário (Figura 4A), verificou-se que a dose de máxima eficiência técnica (DMET) para o teor de N foliar ocorreu em torno de 3947 kg ha⁻¹, onde proporcionou teor máximo de 32,31 g kg⁻¹ de N. É importante destacar, que o Mg é o átomo central da clorofila e, este composto, é formado ainda por quatro átomos de N, ou seja, com a liberação de Mg proveniente do calcário dolomítico utilizado, pode ter aumentado o aproveitamento N, convertendo em clorofila (WANG et al., 2014).

Figura 4 - Teor foliar de N em função das doses de calcário (A) e gesso (B) reaplicados ao solo. Selvíria - MS, Brasil, 2016.

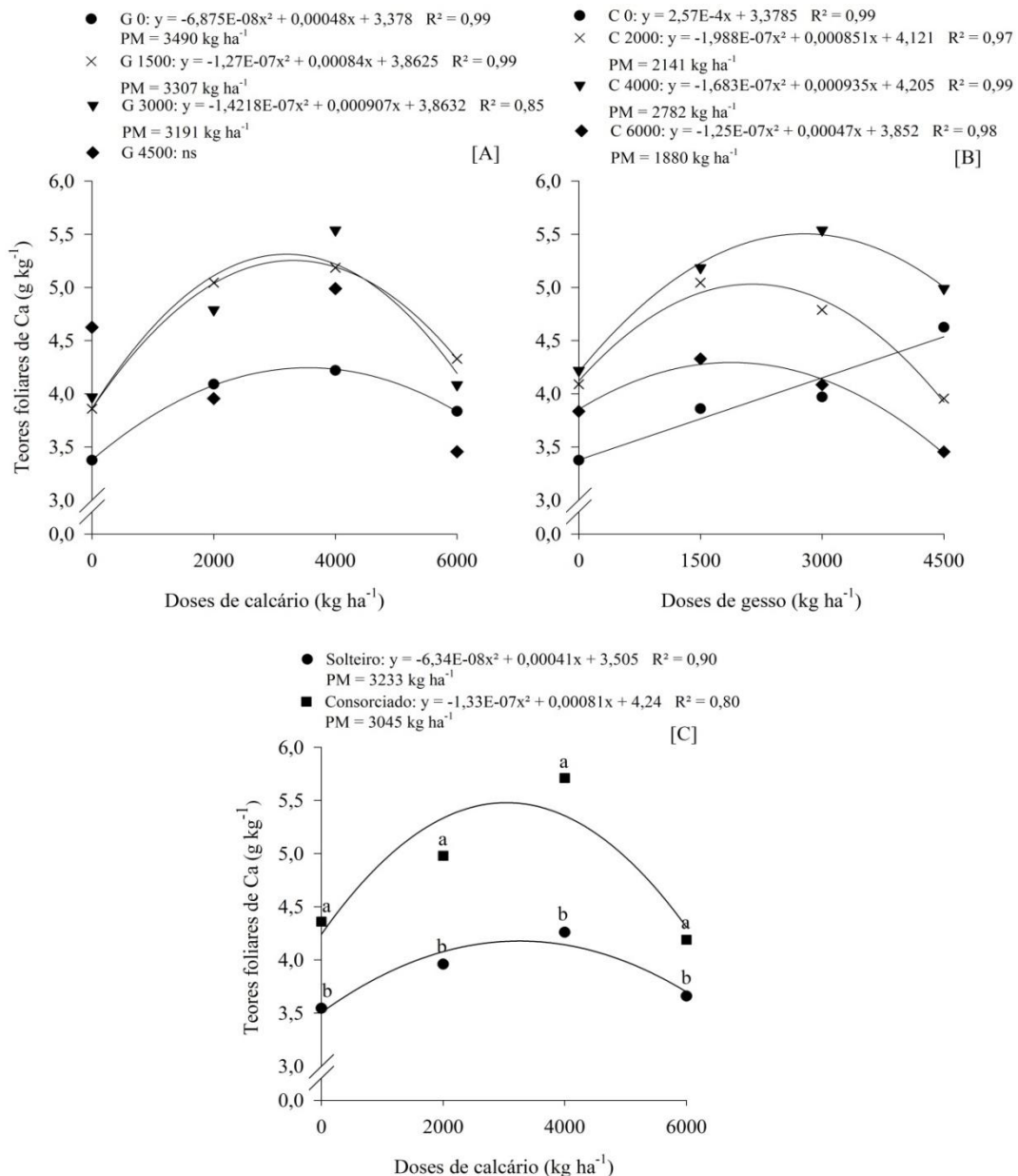


Fonte: Dados do próprio autor.

Em relação às doses de gesso (Figura 4B), o teor de N alcançou 32,06 g kg⁻¹ na DMET de 2402 kg ha⁻¹. O aumento no teor de N proveniente da aplicação do gesso pode estar associado a uma melhoria química do solo em camadas subsuperficiais, apresentando maior absorção de N, sobretudo na forma de NO₃⁻ (ROSOLEM et al., 2003). Todos os teores de N encontrados (32,31 e 32,06 g kg⁻¹ para o calcário e gesso, respectivamente) estão dentro da faixa considerada ideal para a cultura segundo as recomendações de Malavolta et al. 1997. Os teores foliares de P e K não foram alterados pelos tratamentos utilizados, porém o P estava de acordo com a faixa ideal para a cultura (2,5-3,5 g kg⁻¹). Em relação ao K, o teor médio obtido (24,81 g kg⁻¹) está acima da faixa considerada adequada para a cultura do milho (17,5 - 22,5 g kg⁻¹), segundo Malavolta et al. 1997.

Para os teores de Ca, verifica-se que houve interação significativa entre os fatores doses de calcário x gesso (Figura 5A e B) e sistemas x doses de calcário (Figura 5C). No desdobramento de calcário dentro de cada dose de gesso (Figura 5A), verifica-se que para a ausência da aplicação de gesso, o teor de Ca máximo (4,28 g kg⁻¹) foi atingido na DMET de 3490 kg ha⁻¹ de calcário. Na dose posterior (1500 kg ha⁻¹ de gesso), a DMET de 3307 kg ha⁻¹ de calcário obtida proporcionou teor de Ca próximo de 5,25 g kg⁻¹. Na dose de 3000 kg ha⁻¹ de gesso, a DMTE de calcário obtida foi de 3191 kg ha⁻¹, a qual propiciou teores de Ca próximos a 5,31 g kg⁻¹.

Figura 5 - Desdobramento da interação significativa entre doses de calcário e gesso (A e B) e para sistemas e doses de calcário (C) para os teores foliares de cálcio. Selvíria - MS, Brasil, 2016.



Fonte: Dados do próprio autor.

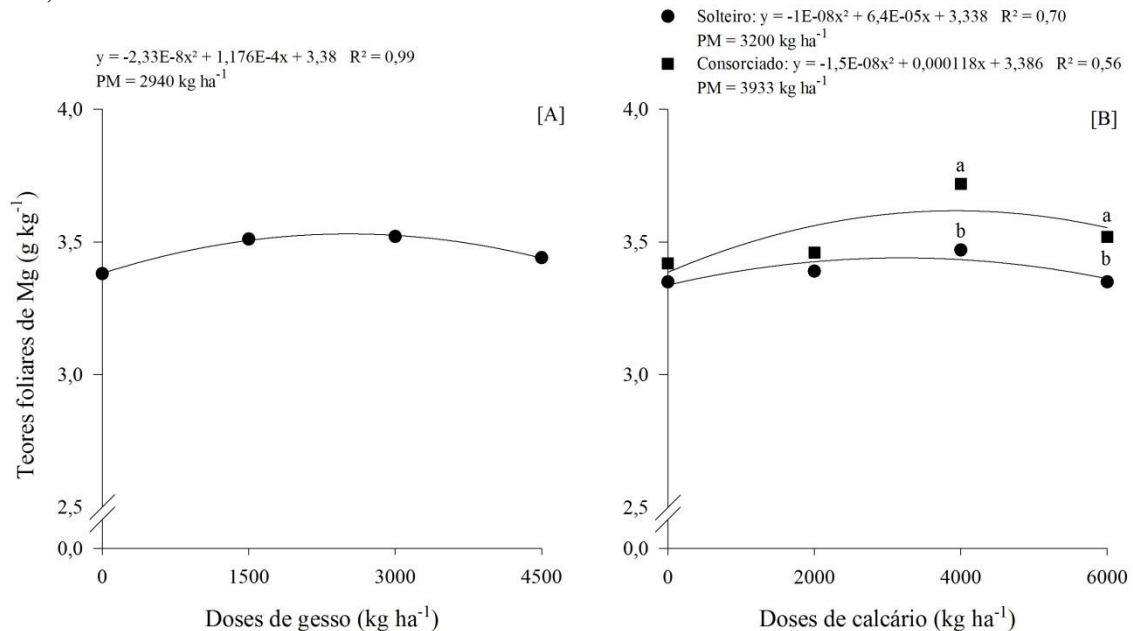
No desdobramento de gesso dentro de cada dose de calcário (Figura 5B), na ausência da aplicação de calcário, os teores de Ca aumentaram linearmente mediante acréscimo nas doses de gesso ($4,53 \text{ g kg}^{-1}$), ao passo que no uso de 2000, 4000 e 6000 kg ha^{-1} , os dados se ajustaram a equações quadráticas com DMET e teores máximos de Ca de 2141, 2782 e 1880 kg ha^{-1} de gesso e 5,03, 5,50 e 4,29 g kg^{-1} , respectivamente.

No desdobramento de sistemas dentro de cada dose de calcário (Figura 5C), nota-se que para o cultivo solteiro, a DMET obtida foi de 3233 kg ha^{-1} e para o consórcio, de 3045 kg ha^{-1} , sendo possível observar redução na dose necessária para obter o ponto máximo da curva. Os teores de Ca foliar para o cultivo solteiro e consorciado em suas respectivas DMET foram 4,16 e 5,47 g kg^{-1} , respectivamente. Também é notório que em todas as doses de calcário, o cultivo consorciado superou o cultivo solteiro. Este fato está associado a maior capacidade de movimentação do calcário no perfil do solo por meio de arraste do mesmo pelo crescimento radicular abundante da *Urochloa*, podendo assim, alcançar maiores profundidades e o elemento ser absorvido por um volume maior de raízes (JUNIOR et al., 2013).

Os teores de Ca foliar, de maneira geral apresentaram-se acima da faixa recomendada para a cultura ($2,5\text{-}4,0 \text{ g kg}^{-1}$), porém, não influenciou de maneira negativa no seu desenvolvimento. Também pode-se inferir que com o melhoramento genético cada vez mais apurado visando aumento de resistência a fatores bióticos e abióticos, transgenia, bem como aumento na produtividade em sistemas de cultivo mais intensivos, a exigência por nutrientes seja aumentada com o passar do tempo (BENDER et al., 2013). O Ca é indispensável para a germinação do grão de pólen e crescimento do tubo polínico. É componente da parede celular e também exerce importante papel na absorção iônica (ARAÚJO et al., 2013).

Para os teores de Mg, houve efeito significativo para as doses de gesso (Figura 6A) e interação significativa entre sistemas x doses de calcário, sendo o desdobramento apresentado na Figura 6B.

Figura 6 - Teor foliar de Mg em função das doses de gesso reaplicados ao solo (A) e desdobramento da interação significativa entre sistemas e doses de calcário (B). Selvíria - MS, Brasil, 2016.



Fonte: Dados do próprio autor.

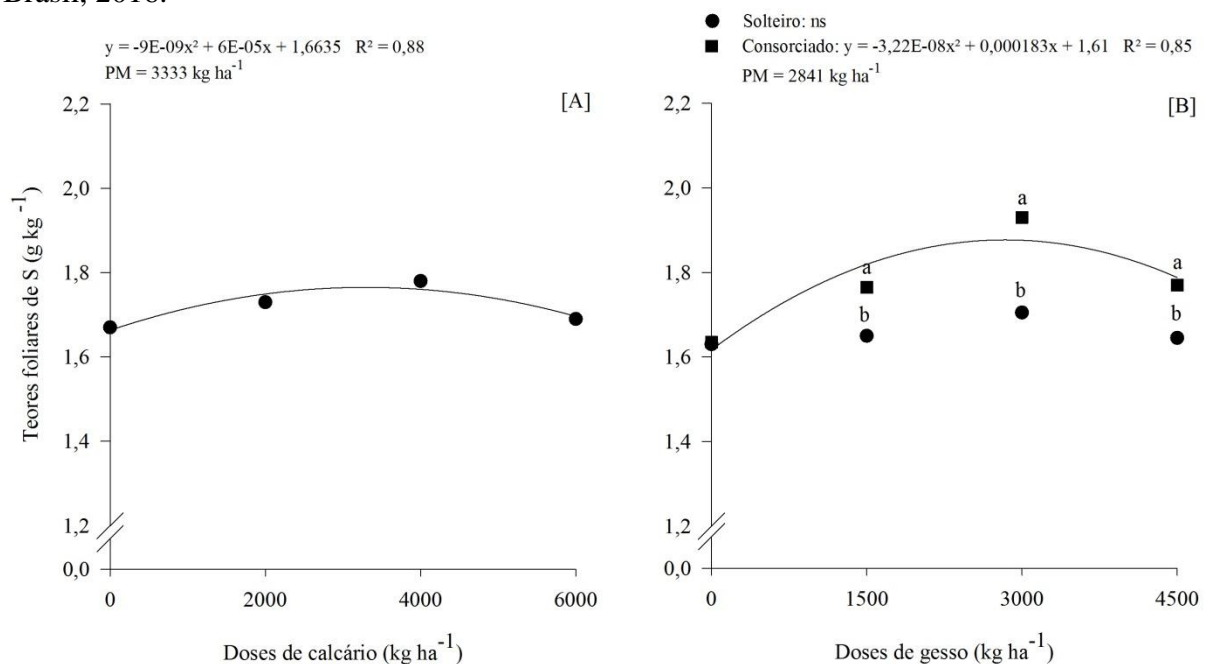
O gesso, apesar de não apresentar MgO em sua composição, proporcionou aumento nos teores de Mg foliar, obtendo DMET de 2940 kg ha⁻¹ e teor foliar de 3,52 g kg⁻¹. Ainda que o gesso esteja associado a maior lixiviação de cátions, principalmente o Ca e o Mg para camadas mais profundas (CAIRES et al., 2011), neste caso, o período decorrido até a coleta foliar pode ter sido curto, não refletindo em redução na sua absorção. O carreamento de Mg pode ter ocorrido das camadas mais superficiais e levados para uma camada um pouco mais abaixo, coincidindo com as zonas de absorção mais ativas das raízes (EPSTEIN e BLOOM, 2006). Para o desdobramento (Figura 6B), os sistemas ajustaram-se a equações quadráticas, sendo que para o cultivo do milho solteiro e consorciado a DMET encontrada foi de 3200 e 3933 kg ha⁻¹ de calcário e os teores máximos de Mg obtidos para estas doses ótimas foram de 3,44 e 3,57 g kg⁻¹, respectivamente. Também é possível observar que os teores de Mg foliar foram superiores no cultivo consorciado associado as duas maiores doses de calcário utilizadas. O arraste promovido pelo sistema radicular agressivo da *Urochloa* pode ter proporcionado maior deslocamento do calcário no perfil do solo, garantindo maior absorção deste elemento pelas raízes mais profundas. Para este nutriente, os teores encontrados estão dentro da faixa considerada ideal para a cultura (2,5-4,0 g kg⁻¹) segundo recomendações de

Malavolta et al. 1997. As funções deste elemento nas plantas estão relacionadas sobretudo com sua capacidade de compor a molécula de clorofla, e é importante ativador enzimático, controlando inúmeros processos fisiológicos nas plantas (ARAÚJO et al., 2013).

Apesar de inúmeros trabalhos afirmarem que pode ocorrer lixiviação de magnésio, e consequentemente, redução nos teores foliares desse nutriente, quando utilizado o gesso em conjunto, neste presente estudo não foi observado este efeito, sendo a sua concentração nos tecidos semelhante em todos os tratamentos. Este fato pode estar relacionado à textura argilosa do solo, retendo a maior parte destes cátions em sua CTC, permitindo assim, doses mais elevadas de gesso (CAIRES et al., 2011).

Em relação aos teores foliares de S, verifica-se que houve efeito isolado das doses de calcário (Figura 7A) e interação significativa entre sistemas e doses de gesso (Figura 7B). O máximo teor de S encontrado em relação às doses de calcário foi de $1,76 \text{ g kg}^{-1}$, obtido na DMET de 3333 kg ha^{-1} . A energia de ligação do S-SO_4^{2-} aos grupos funcionais do solo é menor em relação ao do fosfato, sendo passível de ser deslocado por outros ânions. Dessa forma, a quantidade total de enxofre e a capacidade de adsorção do S-SO_4^{2-} são elevadas em solo com maiores teores de argila, mesmo que sua retenção possa ser diminuída pela aplicação de calcário e de fosfato (RHEINHEIMER et al. 2005).

Figura 7 - Teor foliar de S em função das doses de calcário reaplicados ao solo (A) e desdobramento da interação significativa entre sistemas e doses de gesso (B). Selvíria - MS, Brasil, 2016.



Fonte: Dados do próprio autor.

No desdobramento da interação significativa para os teores de S foliar (Figura 7B), nota-se que houve significância apenas para cultivo consorciado, de maneira que este associado à DMTE de 2841 kg ha⁻¹, os valores de S atingiram valores próximos de 1,87 g kg⁻¹. De maneira geral, é possível verificar que o cultivo consorciado de milho com *Urochloa* proporcionou maiores teores foliares de S se comparados ao cultivo solteiro quando houve uso de gesso. O gesso por si só apresenta uma solubilidade relativamente alta em água, sendo que facilita a percolação deste insumo pelas camadas do solo e, associado ao fato da *Urochloa* por meio de seu sistema radicular potencializar esse efeito, as plantas podem se beneficiar ainda mais na absorção deste elemento.

O gesso além de melhorar a exploração radicular pela neutralização do alumínio trocável libera no solo enxofre e cálcio passível de absorção pelas plantas, fato de suma importância, uma vez que solos do Cerrado apresentam baixas concentrações destes elementos em condições naturais (AMARAL et al., 2017). Os teores de S encontrados estão dentro da faixa de suficiência referência (1,5 -2,0 g kg⁻¹).

As quantidades de nutrientes absorvidas e exportadas não são constantes dentro de cada cultivo, variando em função de cultivar, condições climáticas, tipo de manejo implementado e tecnologia empregada, levando em conta também, o nível de fertilidade do solo (RESENDE et al., 2012). Os padrões preestabelecidos de exigência nutricional do milho e de várias outras culturas no Brasil e em vários outros países estão defasadas, uma vez que estas pesquisas foram conduzidas há mais de duas décadas e ainda continuam como padrões em várias tabelas oficiais de recomendação (VON PINHO et al., 2009). Em contrapartida, é notório que estas exigências aumentaram à medida que maiores índices de produtividade foram alcançados e cultivares cada vez mais precoces foram colocados no mercado (BENDER et al., 2013).

Os teores foliares de Cu, Mn e Zn foram influenciados significativamente pelas doses de calcário reaplicadas superficialmente no solo (Tabela 4). Os ajustes aos modelos de regressão encontram-se na Figura 8.

Tabela 4 - Valores de F e médias encontradas para os teores foliares de cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn) do milho 2ª safra em função dos tratamentos. Selvíria - MS, Brasil, 2016.

TRATAMENTOS	Cu mg kg ⁻¹	Fe mg kg ⁻¹	Mn mg kg ⁻¹	Zn mg kg ⁻¹
SISTEMA (S)				
Solteiro	19,03	256,64	118,68	53,62
Consoiciado	19,65	280,60	123,37	54,09
CALCÁRIO kg ha⁻¹ (C)				
0	19,06	271,67	115,75	57,62
2000	20,93	293,54	128,00	57,37
4000	21,25	276,54	129,87	54,56
6000	16,12	232,36	110,00	45,87
GESSO kg ha⁻¹ (G)				
0	18,68	276,50	121,81	58,00
1500	19,93	261,83	126,12	51,93
3000	19,62	275,91	121,06	51,68
4500	19,12	259,25	115,12	53,81
Teste F				
S	11,11 ^{ns}	67,47 ^{ns}	0,65 ^{ns}	0,00 ^{ns}
C	57,86 ^{**}	2,64 ^{ns}	4,89 [*]	5,09 [*]
G	0,99 ^{ns}	0,22 ^{ns}	0,77 ^{ns}	1,45 ^{ns}
S x C	4,44 ^{ns}	1,70 ^{ns}	2,46 ^{ns}	1,48 ^{ns}
S x G	0,53 ^{ns}	0,45 ^{ns}	2,63 ^{ns}	0,93 ^{ns}
C x G	1,97 ^{ns}	2,15 ^{ns}	0,94 ^{ns}	0,45 ^{ns}
S x C x G	1,32 ^{ns}	1,81 ^{ns}	1,20 ^{ns}	0,39 ^{ns}
Média geral	19,34	267,62	121,00	53,85
DMS sistema	2,38	37,05	73,85	92,51
RL calcário	37,75 ^{**}	3,58 ^{ns}	0,53 ^{ns}	8,85 [*]
RQ calcário	128,00 ^{**}	4,31 ^{ns}	13,82 [*]	2,99 ^{ns}
RL gesso	0,16 ^{ns}	0,17 ^{ns}	1,19 ^{ns}	1,39 ^{ns}
RQ gesso	2,49 ^{ns}	0,00 ^{ns}	0,99 ^{ns}	2,85 ^{ns}
CV. (%) subsubparcela	11,47	27,79	17,04	18,02

Nota: Médias seguidas de letra iguais, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

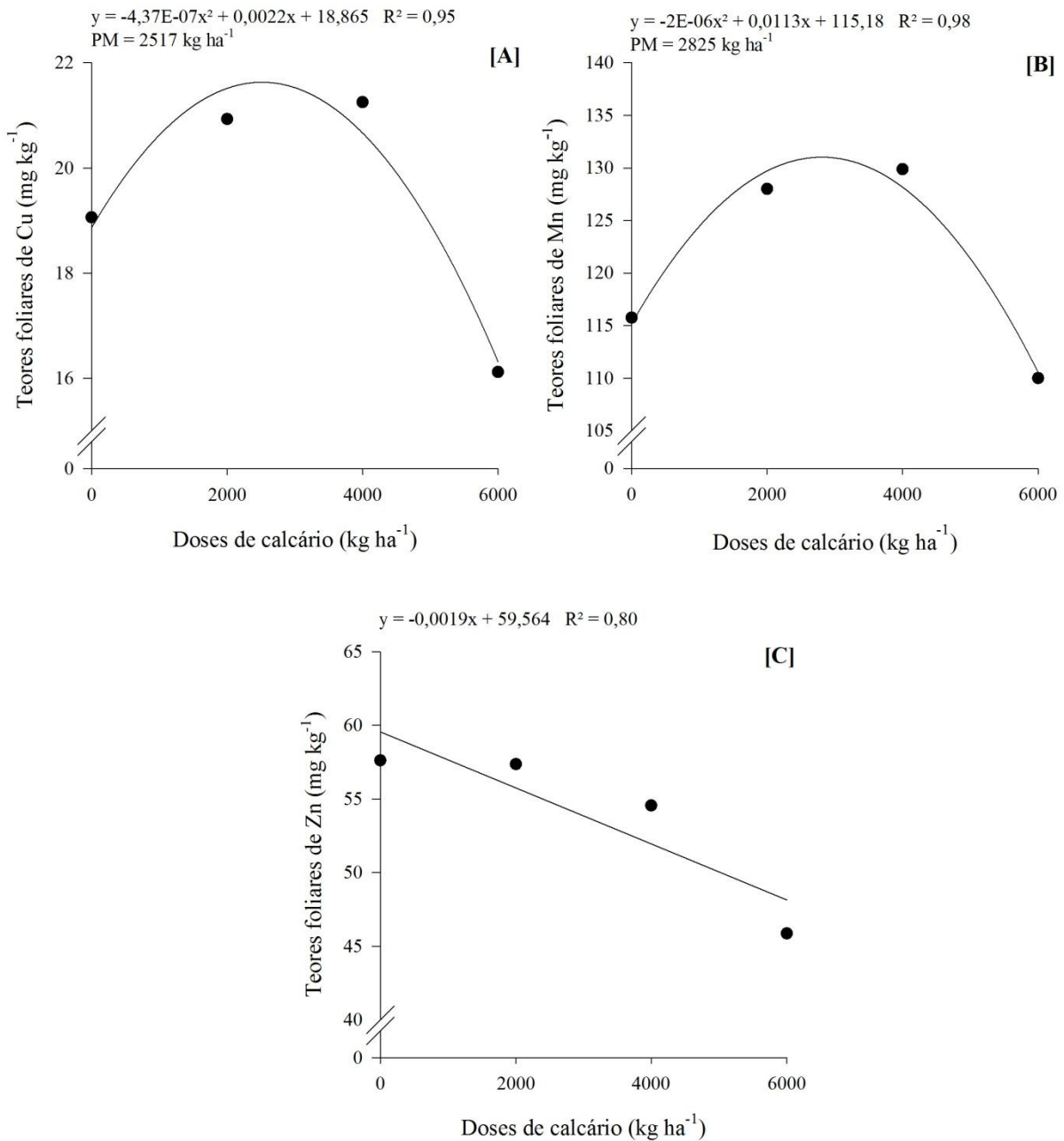
** significativo $p < 0,01$; * significativo $0,01 < p < 0,05$; ns: não significativo

Fonte: Dados do próprio autor.

Os teores foliares de Cu e Mn ajustaram-se a equações quadráticas, apresentando DMET de 2517 e 2825 kg ha⁻¹ de calcário, e teores foliares máximos de 21,63 e 131,14 g kg⁻¹, respectivamente (Figura 8A e B). O teor encontrado para o Cu encontra-se acima da faixa considerada ótima para a cultura (6-20 g kg⁻¹), segundo recomendações de Malavolta et al. (1997), enquanto para o Mn, os teores encontram-se na faixa do adequado para a cultura do milho (50-150 g kg⁻¹). Quanto aos teores foliares de Zn (Figura 8C), verifica-se que houve decréscimo linear mediante as doses de calcário, sendo que elevadas doses do mesmo reduziu

concentração do íon metálico no tecido vegetal do milho. Baseado na equação, na maior dose do corretivo, os teores de Zn atingiram cerca de 48 g kg^{-1} , que apesar de ter diminuído, ainda encontra-se dentro da faixa considerada ideal para a cultura do milho ($15 \text{ a } 50 \text{ g kg}^{-1}$).

Figura 8 - Teores foliares de cobre (A), manganês (B) e zinco (C) em função das doses de calcário reaplicadas ao solo. Selvíria - MS, Brasil, 2015/16.



Fonte: Dados do próprio autor.

Doses elevadas de calcário em superfície, a priori, podem promover uma frente de correção agressiva, fazendo com que o pH do solo na camada mais superficial se eleve acima da faixa considerada ótima, promovendo diminuição da concentração de micronutrientes biodisponíveis na solução do solo (HARMSEN e VLEK, 1985; CAIRES et al., 2000; CAIRES et al., 2006). É notório este efeito para a concentração de Cu, Mn e Zn nos tecidos foliares da cultura do milho. Devido ao sistema radicular fasciculado do milho, o mesmo não atinge grandes profundidades no perfil do solo, ficando em maioria nas primeiras camadas, onde o efeito do calcário reaplicado em superfície é mais pronunciado.

A diminuição na produção de muitas culturas, quando submetida à calagem superficial, tem sido associada com a redução na biodisponibilidade de Cu, Fe, Zn e Mn no solo (SUMNER et al., 1978, SORATTO, 2005), entretanto, cabe ressaltar que esta premissa não deve ser aplicada a todos os tipos de solos, climas e manejo dos sistemas de cultivo. O uso da dosagem correta do insumo, associado a época de aplicação e o manejo ideal do solo garantem o sucesso da prática (CAIRES et al., 2000).

Quanto aos teores de Fe (Tabela 4), não se verificou diferença significativa entre os valores encontrados. Apesar do comportamento do Fe ser semelhante ao dos demais micronutrientes catiônicos divalentes, sua abundância no solo é alta, visto se tratar de um LATOSSOLO VERMELHO distrófico. Solos de coloração avermelhada apresentam em sua constituição o mineral hematita, característico por apresentar Fe em sua composição, promovendo tal coloração ao solo (FERNANDES et al., 2004). Em vista do exposto, pela grande quantidade deste elemento no solo, tanto nas camadas mais superficiais, quanto nas mais profundas, não houve diferenças significativas quanto sua concentração no tecido vegetal do milho.

A população final e plantas de milho não foi influenciada pelos tratamentos utilizados (Tabela 5). Nota-se que a população final obtida (83049 plantas ha⁻¹) foi muito maior que a esperada (65.000 plantas ha⁻¹), sendo que houve erro na distribuição de sementes, apresentando cerca de 3,7 ao invés de 3,1 sementes m⁻¹. Por mais que é aconselhável aumentar a população de plantas quando se semeia milho fora de época, a população obtida foi muito alta, promovendo em algumas parcelas acamamento. Alta densidade de plantas promove menor oxidação de auxinas decorrente da maior proximidade das plantas e estimula a alongação celular (SALISBURY e ROSS, 1992). Devido a este fato, os entrenós do colmo são mais longos, aumentando a estatura da planta, além de promover alta competição intraespecífica por luz, aumentando a dominância apical e o estiolamento das plantas, o que

resulta em redução do diâmetro do colmo e, conseqüentemente, acamamento (SANGOI et al., 2002).

Tabela 5 - Valores de F e médias para população final de plantas, altura de plantas, altura de inserção da espiga e prolificidade do milho 2ª safra em função dos tratamentos. Selvíria - MS, Brasil, 2016.

TRATAMENTOS	População final plantas ha ⁻¹	Altura de plantas m	Inserção da espiga m	Prolificidade
SISTEMA (S)				
Solteiro	83.664	2,05 b	1,26 b	1,01
Consoiciado	82.434	2,14 a	1,38 a	1,00
CALCÁRIO (kg ha⁻¹) (C)				
0	83.828	2,06	1,34	1,00
2000	83.484	2,11	1,31	1,01
4000	83.135	2,11	1,31	1,01
6000	81.749	2,11	1,30	1,00
GESSO (kg ha⁻¹) (G)				
0	81.731	2,01	1,29	1,01
1500	83.068	2,11	1,31	1,00
3000	83.024	2,12	1,34	1,01
4500	84.437	2,15	1,33	1,00
<i>Teste F</i>				
S	1,169 ^{ns}	11,441 ^{**}	68,978 ^{**}	3,398 ^{ns}
C	0,642 ^{ns}	1,008 ^{ns}	1,905 ^{ns}	1,179 ^{ns}
G	0,900 ^{ns}	5,001 ^{**}	2,059 ^{ns}	0,809 ^{ns}
S x C	1,626 ^{ns}	0,299 ^{ns}	3,190 ^{ns}	1,179 ^{ns}
S x G	0,282 ^{ns}	2,832 ^{ns}	2,285 ^{ns}	0,809 ^{ns}
C x G	0,880 ^{ns}	0,702 ^{ns}	1,364 ^{ns}	0,932 ^{ns}
S x C x G	0,779 ^{ns}	0,242 ^{ns}	0,617 ^{ns}	1,795 ^{ns}
Média geral	83.049	2,10	1,32	1,01
RL calcário	1,339 ^{ns}	0,106 ^{ns}	2,548 ^{ns}	0,014 ^{ns}
RQ calcário	0,210 ^{ns}	1,129 ^{ns}	1,120 ^{ns}	3,398 ^{ns}
RL gesso	1,049 ^{ns}	3,583 [*]	2,603 ^{ns}	0,680 ^{ns}
RQ gesso	1,395 ^{ns}	6,183 [*]	0,197 ^{ns}	0,624 ^{ns}
CV (%) subsubparcela	7,75	7,32	5,87	3,32

Nota: Médias seguidas de letra iguais, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

** significativo p<0,01; * significativo 0,01<p<0,05; ns: não significativo

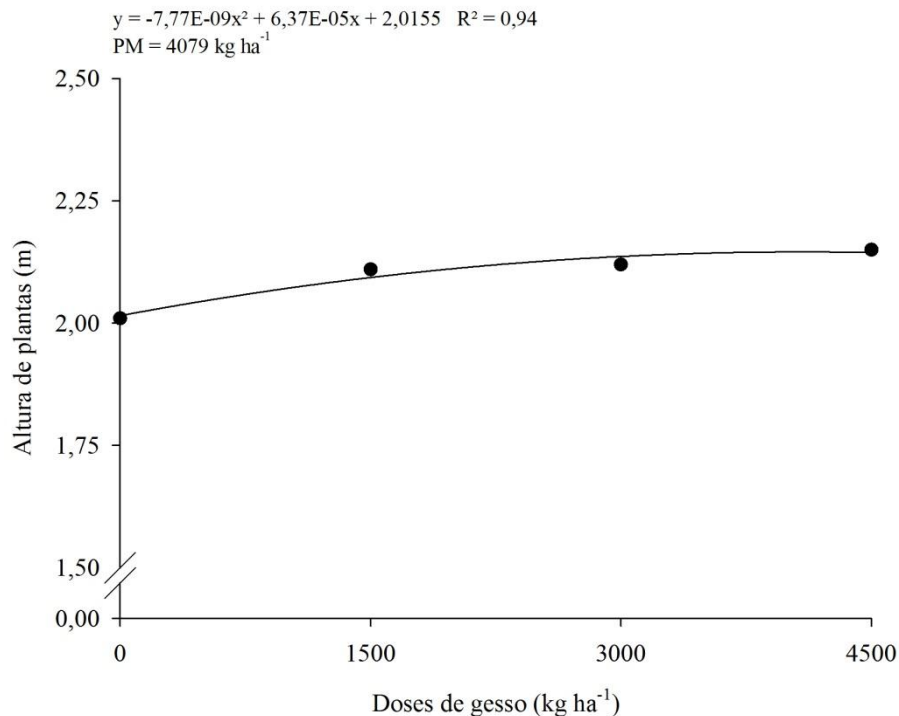
Fonte: Dados do próprio autor.

Quanto aos componentes agrônômicos da cultura do milho, verifica-se que a altura de plantas foi influenciada de maneira significativa pela forma em que o milho foi cultivado. O milho sob influência do consórcio apresentou maior altura em relação ao solteiro. Este fato pode ser explicado pelo maior aproveitamento do N fornecido em cobertura, uma vez que a

nitrificação é reduzida em ambiente de cultivo com *Urochloas* (JONES, 2013; KARWAT et al., 2017; COSKUN et al., 2017). Esta mesma tendência foi acompanhada pela altura de inserção da espiga, sendo esta diretamente ligada a altura de plantas (SANGOI et al., 2002).

A altura de plantas também aumentou com a aplicação de gesso agrícola, sendo que as médias obtidas ajustaram-se a uma equação quadrática, apresentando DMET de 4079 kg ha⁻¹ e altura máxima de 2,14 m (Figura 9).

Figura 9 - Altura de plantas de milho em função das doses de gesso reaplicadas ao solo. Selvíria - MS, Brasil, 2016.



Fonte: Dados do próprio autor.

O enxofre presente no gesso é um elemento de grande importância, participando de numerosos compostos como aminoácidos, proteínas, enzimas e nucleotídeos (STIPP e CASARIN, 2010). Juntamente com o nitrogênio, o enxofre está presente em processos vitais para a planta, como absorção iônica aos papéis de RNA e DNA e diretamente ligado ao metabolismo do crescimento por indução hormonal e diferenciação celular (STIPP e CASARIN, 2010; FIORINI et al., 2017). Por esta íntima relação entre estes dois elementos, os efeitos benéficos do N estão quase sempre relacionados com os do S, principalmente nos processos de crescimento primário das plantas (EPSTEIN; BLOOM, 2006).

Em relação à prolificidade (Tabela 5), não houve influência significativa dos tratamentos utilizados, sendo este um fator com maior grau de dependência do genótipo, onde

a nutrição mineral não se torna um fator preponderante no resultado final (LOPES et al., 2007).

Houve influencia significativa dos tratamentos utilizados para todos os componentes da produção e produtividade do milho (Tabela 6).

Tabela 6 - Valores de F e médias de número de fileiras por espiga (NFE), número de grãos por fileira (NGF), número de grãos por espiga (NGE), massa de 100 grãos (M100G) e produtividade de grãos (PROD) do milho 2ª safra em função dos tratamentos. Selvíria - MS, Brasil, 2016.

TRATAMENTOS	NFE	NGF	NGE	M100G (g)	PROD (kg ha ⁻¹)
SISTEMA (S)					
Solteiro	14,97 b	27,54 b	411	26,39	7936
Consorciado	15,23 a	28,65 a	438	27,40	9896
CALCÁRIO (kg ha⁻¹) (C)					
0	14,62	27,36	405	26,66	8160
2000	15,29	28,00	424	27,51	9221
4000	15,28	29,08	447	27,55	10183
6000	15,23	27,93	423	25,85	8099
GESSO (kg ha⁻¹) (G)					
0	15,02	27,45	414	26,13	8006
1500	15,08	28,49	430	27,60	9497
3000	15,36	28,44	437	27,04	9382
4500	14,95	27,99	418	26,80	8778
Teste F					
S	5,19 *	24,74 **	37,28 **	3,47 ^{ns}	106,07 **
C	8,09 **	8,85 **	15,01 **	2,27 ^{ns}	27,03 **
G	2,46 ^{ns}	4,46 **	5,63 **	1,27 ^{ns}	12,90 **
S x C	1,36 ^{ns}	2,41 ^{ns}	4,65 **	0,34 ^{ns}	4,29 **
S x G	0,24 ^{ns}	2,91 ^{ns}	0,41 ^{ns}	0,91 ^{ns}	1,31 ^{ns}
C x G	0,91 ^{ns}	1,89 *	1,20 ^{ns}	0,44 ^{ns}	4,40 **
S x C x G	1,22 ^{ns}	1,49 ^{ns}	1,32 ^{ns}	0,95 ^{ns}	0,99 ^{ns}
Média geral	15,11	28,10	425	26,90	8916
RL calcário	12,91 **	4,76 *	15,75 **	1,00 ^{ns}	0,84 ^{ns}
RQ calcário	9,77 **	7,03 *	22,62 **	5,66 **	68,27 **
RL gesso	0,01 ^{ns}	2,35 ^{ns}	1,01 ^{ns}	0,36 ^{ns}	6,68 *
RQ gesso	4,11 ^{ns}	11,16 **	15,12 **	2,50 ^{ns}	31,31 **
CV (%) subparcela	4,25	4,51	5,90	11,31	12,07

Nota: Médias seguidas de letra iguais, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

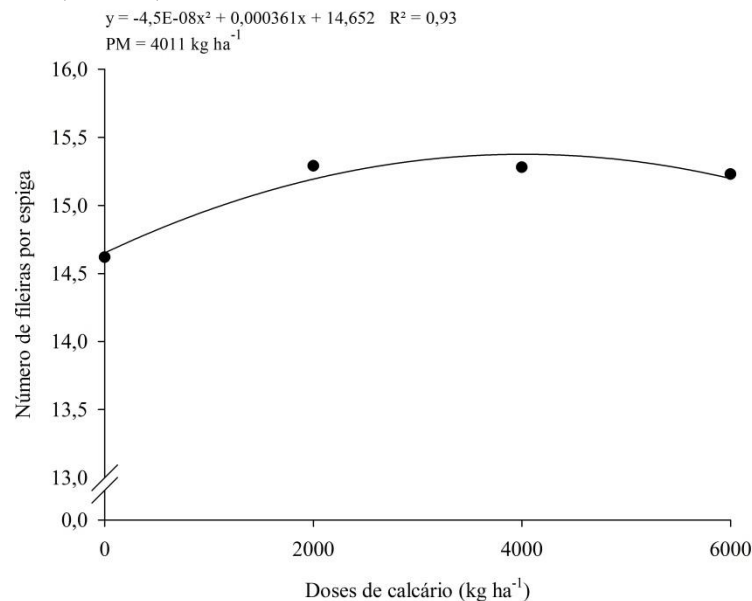
** significativo $p < 0,01$; * significativo $0,01 < p < 0,05$; ns: não significativo

Fonte: Dados do próprio autor.

Em relação ao número de fileiras por espiga, observa-se que o sistema de cultivo do milho proporcionou valores significativos, onde o consórcio do milho com a *Urochloa* promoveu valores superiores ao cultivo solteiro. Também verifica-se que as doses de calcário

também influenciou de maneira significativa, ajustando a uma equação quadrática, com DMET de 4011 kg ha⁻¹, obtendo aproximadamente, uma média de 15,37 fileiras por espiga (Figura 10). O cultivo consorciado promoveu maior aproveitamento do N e absorção de cátions essenciais ao desenvolvimento da cultura, sendo que estes fatores podem ter contribuído de maneira efetiva na diferenciação da espiga, proporcionando maior média de fileiras por espiga.

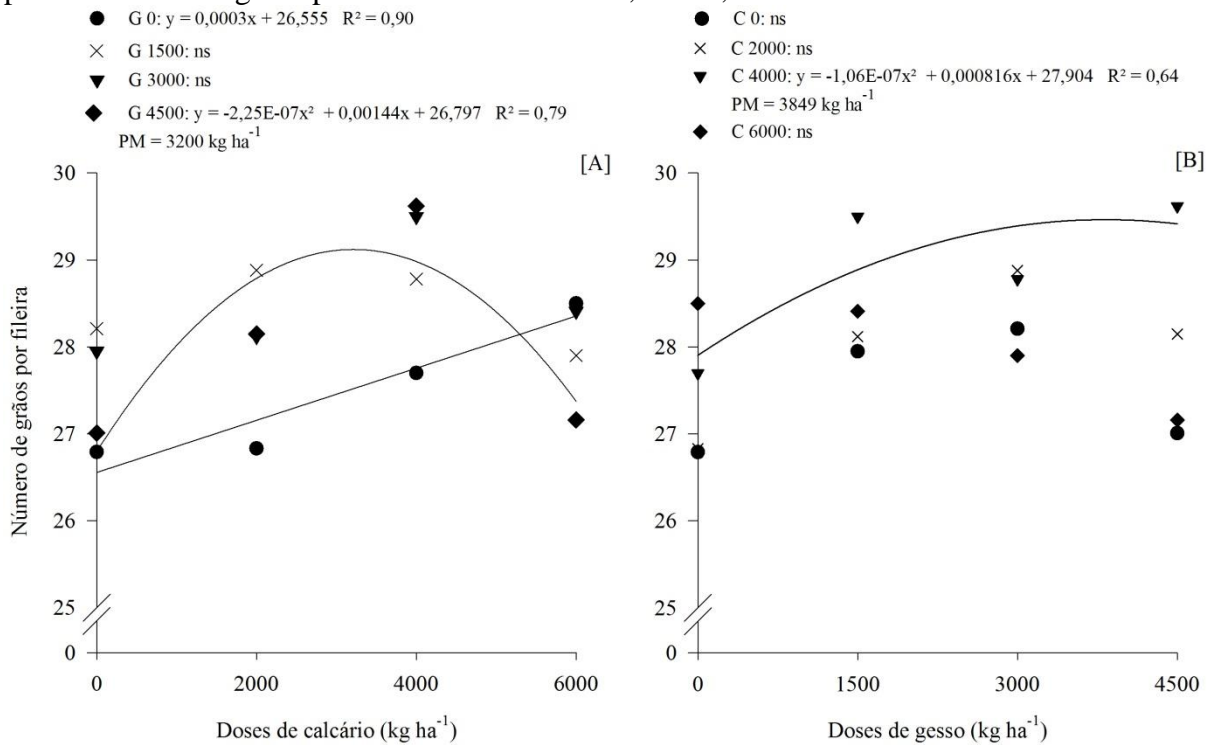
Figura 10 - Número de fileiras por espiga de milho em função das doses calcário reaplicados ao solo. Selvíria - MS, Brasil, 2016.



Fonte: Dados do próprio autor.

Quanto ao número de grãos por fileira, constata-se que o sistema influenciou de maneira isolada para este caráter e também, houve interação significativa entre os fatores causais doses de calcário x doses de gesso, sendo o desdobramento apresentado na Figura 11. Com o consórcio, o número de grãos por fileira foi superior ao cultivo do milho solteiro. Este fato associa-se ao possível maior aproveitamento do N aplicado em cobertura, uma vez que a *Urochloa* libera ao solo a substância Brachialactone, inibindo a nitrificação e consequentemente, aumentando a eficiência do uso deste importante nutriente, o qual interfere no crescimento vegetal e taxa fotossintética (JONES, 2013; KARWAT et al., 2017; COSKUN et al., 2017).

Figura 11 - Desdobramento da interação significativa entre doses de calcário e gesso (A e B) para o número de grãos por fileira. Selvíria - MS, Brasil, 2016.



Fonte: Dados do próprio autor.

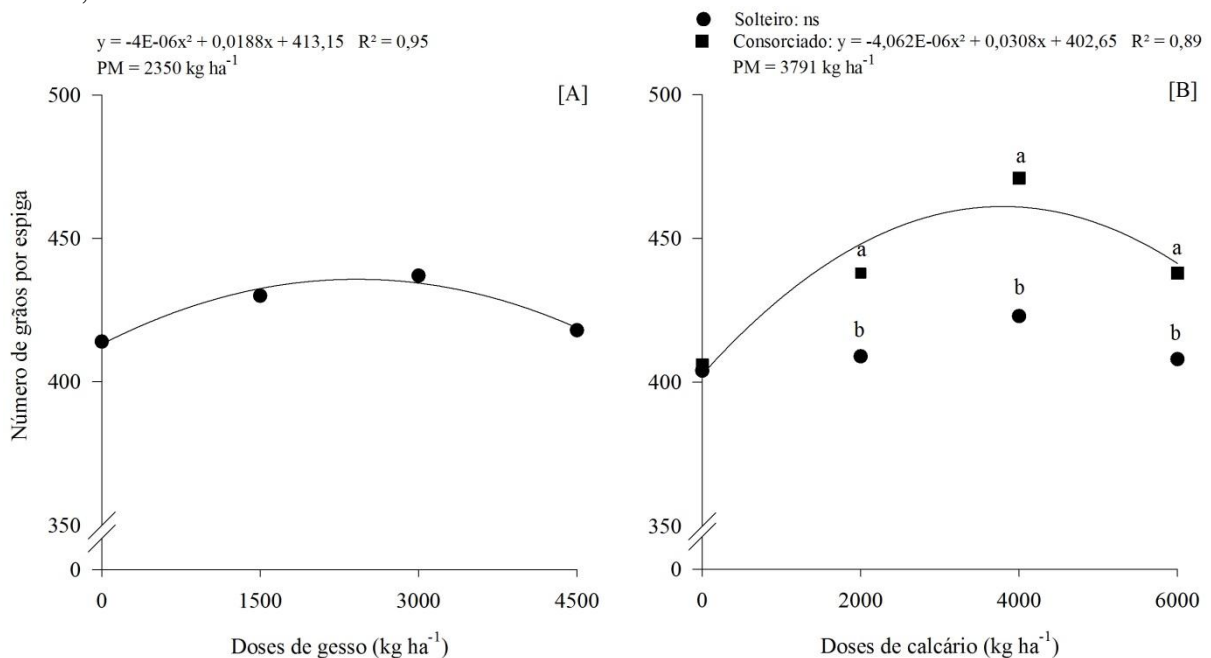
Verifica-se que no desdobramento de calcário dentro de cada dose de gesso (Figura 11A), para a ausência de aplicação de gesso, foi observado ajuste linear crescente para o número de grãos por fileira mediante incremento nas doses de calcário, apresentando média de 28,35 grãos. Entretanto, na dose de 4500 kg ha⁻¹ de gesso associada com a DMET de calcário (3200 kg ha⁻¹) foi obtido o valor médio de 31,4 grãos por fileira.

No desdobramento de doses de gesso dentro de cada dose de calcário (Figura 11B), encontra-se que a melhor combinação de doses dos insumos utilizados é a de 4000 kg ha⁻¹ de calcário associada à DMET de 3849 kg ha⁻¹ de gesso, apresentando cerca de 30 grãos de milho por fileira da espiga. O aumento no número de grãos no milho pode estar relacionado ao maior suprimento por Ca proveniente do calcário e do gesso, sendo este um elemento essencial na germinação do grão de pólen e conseqüentemente, na formação do tubo polínico (ARAÚJO et al., 2013). Este elemento também participa na formação das fibras do fuso na divisão celular, fato este indispensável na fase reprodutiva das culturas (LAVIOLA et al., 2007).

Em relação aos valores referentes ao número de grãos por espiga, no desdobramento (Figura 12A) é possível observar que independente da dose de calcário utilizada, o cultivo de

milho associado ao consórcio com *Urochloa brizantha* cv. Marandu, os resultados apresentaram-se superiores quando comparados ao cultivo solteiro do milho. Quanto ao desdobramento de sistemas dentro de cada dose de calcário, apenas o consórcio teve resultados significativos, apresentando uma DMET de 3791 kg ha⁻¹, na qual obteve média aproximada de 460 grãos por espiga. A nutrição adequada proporcionada pela aplicação do calcário e os benefícios do consórcio beneficiaram o desenvolvimento da cultura, refletindo no número de fileiras por espiga e grãos por fileira, os quais influem diretamente no número de grãos por espiga.

Figura 12 - Número de grãos por espiga em função das doses gesso reaplicados ao solo (A) e desdobramento da interação significativa entre sistemas e doses de calcário (B). Selvíria - MS, Brasil, 2016.

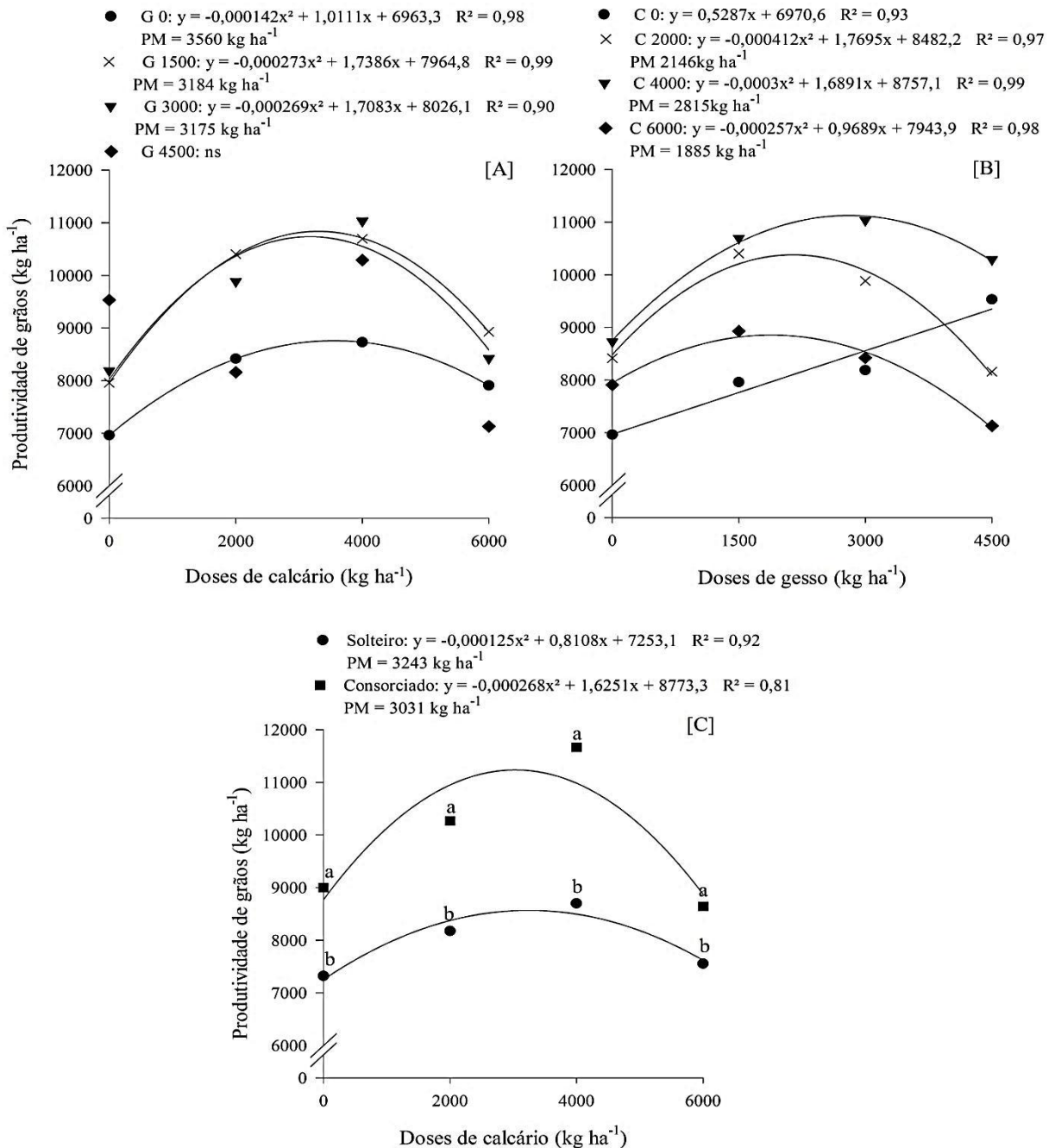


Fonte: Dados do próprio autor.

Ainda para número de grãos por espiga, constata-se que as doses de gesso influenciaram isoladamente este componente (Figura 12B) e também houve interação significativa entre sistemas x doses de calcário, sendo o desdobramento apresentado na Figura 8B. Para as doses de gesso (Figura 12A), as médias ajustaram-se a uma equação quadrática, obtendo DMET de 2350 kg ha⁻¹ e uma produção máxima de 435 grãos por espiga. O gesso possui a capacidade de fornecer Ca e S, elementos essenciais no processo de germinação dos grãos de pólen, formação do tubo polínico e conseqüentemente, formação do grão (ARAÚJO et al., 2013).

Em relação à massa de 100 grãos, não houve diferença significativa para nenhum dos fatores causais estudados. Este fato pode estar relacionado ao suprimento de água favorável durante o enchimento de grãos promovido pela irrigação suplementar e, também, por ser uma característica intrínseca ao cultivar, sem que haja grandes oscilações nos valores (ARGENTA et al., 2001). Quanto à produtividade de grãos, verifica-se que houve interação significativa entre doses de calcário x gesso (Figura 13A e B) e sistemas x doses de calcário (Figura 13C).

Figura 13 - Desdobramento da interação significativa entre doses de calcário e gesso (A e B) e para sistemas e doses de calcário (C) para produtividade de grãos. Selvíria - MS, Brasil, 2016.



No desdobramento das doses de calcário dentro de cada dose de gesso (Figura 13A), com exceção da maior dose de gesso, as demais apresentaram significância para os desdobramentos, onde na ausência de gesso as médias ajustaram-se a uma equação quadrática, obtendo DMET de calcário de 3560 kg ha⁻¹, sendo que nesta dose, as médias alcançaram uma produtividade de 8763 kg ha⁻¹. Na dose de 1500 kg ha⁻¹ de gesso, a combinação desta com a DMET de 3184 kg ha⁻¹ de calcário, a produtividade atingiu valores próximos a 10732 kg ha⁻¹. Nota-se que com o aumento na dose de gesso, a dose de máxima eficiência de calcário foi reduzida. Quando foi utilizada a dose de 3000 kg ha⁻¹ de gesso, a dose ótima de calcário apresentou a mesma tendência anterior, reduzindo ainda mais, uma vez que a DMET para o calcário foi de 3175 kg ha⁻¹. Nesta combinação de doses, a produtividade atingiu aproximadamente 10738 kg ha⁻¹, apresentando baixa diferença em relação à combinação anterior.

Para o desdobramento das doses de gesso dentro de cada dose de calcário (Figura 13B), pode-se verificar que na ausência de calcário, houve aumento linear nas médias de produtividade mediante acréscimo nas doses de gesso, produzindo até 9349 kg ha⁻¹. A combinação da dose de 2000 kg ha⁻¹ de calcário à DMET de gesso (2146 kg ha⁻¹), a média obtida para a produtividade de grãos ficou próxima a de 10382 kg ha⁻¹. Para a dose de 4000 kg ha⁻¹ de calcário, a melhor combinação obtida foi na dose de 2815 kg ha⁻¹ de gesso, de maneira que nesta combinação, a média de produtividade atingiu 11134 kg ha⁻¹. Na maior dose de calcário, a DMET de gesso ficou próxima de 1885 kg ha⁻¹, a menor dentre as apresentadas. Nesta associação de doses a produtividade máxima de grãos obtida foi de 8857 kg ha⁻¹.

O aumento de produtividade exercido pela combinação do calcário e do gesso deve-se ao fato da maior disponibilidade de macronutrientes pelo perfil do solo, como o Ca, Mg e S e pela possível redução nos teores de Al³⁺, propiciando condições químicas mais favoráveis ao desenvolvimento radicular, absorção de água e nutrientes (ZANDONÁ et al., 2015).

Com relação ao desdobramento de sistemas x doses de calcário (Figura 13C), o milho solteiro apresentou maior produtividade quando associado à DMET de 3243 kg ha⁻¹ de calcário, de modo que para o milho consorciado com a *Urochloa* a dose ótima obtida foi de 3031 kg ha⁻¹. Verifica-se que com o consórcio, reduziu-se a dose ótima de calcário e aumentou-se a produtividade. Para o milho solteiro a máxima produtividade de grãos obtida foi de 8567 kg ha⁻¹ e para o milho consorciado 11236 kg ha⁻¹, ou seja, 23,75% de aumento, além de reduzir a dose de calcário a ser utilizada. De maneira geral, também é notório a maior

capacidade produtiva do milho em consórcio em relação ao cultivo solteiro, independente da dose de calcário a ser utilizada.

O cultivo consorciado de milho com *Urochloa* proporcionou condições superiores ao cultivo solteiro, onde o aproveitamento do N aplicado ao sistema e a disponibilização de Ca e Mg, além da possível maior correção de acidez e neutralização do Al^{3+} do solo em camadas mais profundas, proporcionaram melhor desenvolvimento da cultura, podendo assim, explorar seu potencial produtivo.

Cabe ressaltar que a média de produtividade obtida pela cultura do milho foi elevada, em parte, devido ao fato da alta população de plantas estabelecidas na área. Devido a alta densidade de plantas, as plantas se alongaram e ocorreu problema de acamamento em algumas parcelas.

A produção de massa de matéria seca do cultivo do milho solteiro e consorciado e resíduo vegetal acumulado anteriormente a semeadura da cultura da soja no verão encontram-se na Tabela 7. Quanto à produtividade de massa da cultura do milho cultivado nos dois sistemas, verifica-se que houve interação significativa entre doses de calcário x gesso (Figura 14A e B) e sistemas x doses de calcário (Figura 14C).

Tabela 7 - Valores de F e médias para massa de matéria seca do milho (MMSM), massa de matéria seca da cobertura do solo após o milho (MMSC) e massa de matéria seca total (MMST) em função dos tratamentos. Selvíria - MS, Brasil, 2016.

TRATAMENTOS	MMSM	MMSC	MMST
	----- kg ha ⁻¹ -----		
SISTEMA (S)			
Solteiro	9924 b	4270 b	14195 b
Consoiciado	12375 a	7711 a	20087 a
CALCÁRIO kg ha⁻¹ (C)			
0	10037	5220	15257
2000	11343	6104	17446
4000	12933	7083	20016
6000	10286	5556	15843
GESSO kg ha⁻¹ (G)			
0	10014	5362	15376
1500	11878	6420	18298
3000	11735	6486	18822
4500	10971	5695	16667
<i>Teste F</i>			
S	106,296 **	754,883 **	286,570 **
C	30,661 **	42,261 **	37,394 **
G	12,940 **	19,401 **	16,087 **
S x C	4,474 **	9,218 **	6,233 **
S x G	1,313 ns	1,019 ns	1,178 ns
C x G	4,757 **	1,727 ns	3,524 **
S x C x G	0,969 ns	0,857 ns	0,888 ns
Média geral	11149	5991	17141
DMS sistema	472	248	691
RL calcário	4,481 **	12,603 **	7,729 **
RQ calcário	69,048 **	92,606 **	83,509 **
RL gesso	6,589 **	3,634 ns	5,920 **
RQ gesso	30,533 **	54,511 **	41,356 **
CV (%) subparcela	12,06	11,83	11,49

Nota: Médias seguidas de letra iguais, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

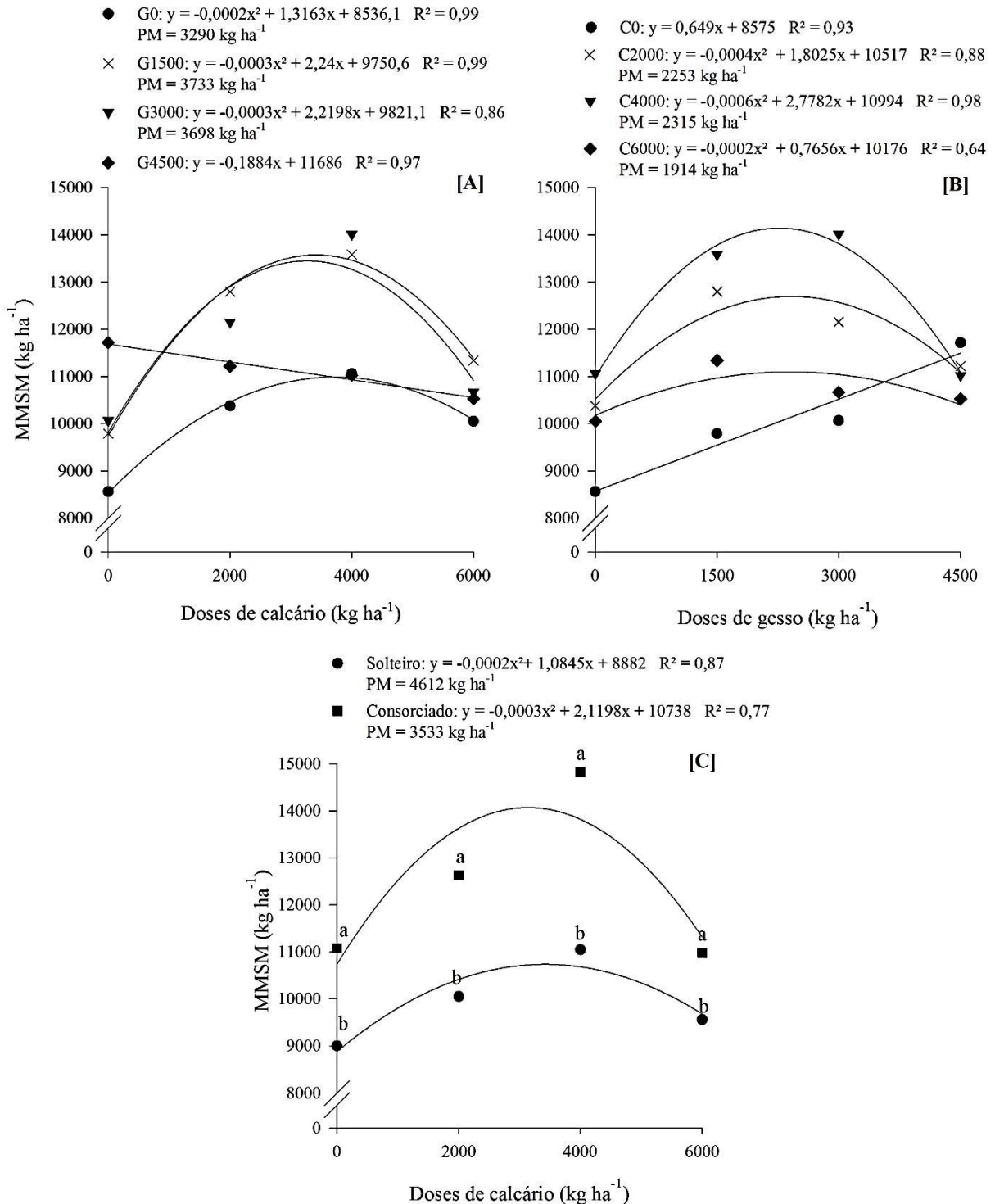
** significativo $p < 0,01$; * significativo $0,01 < p < 0,05$; ns: não significativo

Fonte: Dados do próprio autor.

No desdobramento das doses de calcário dentro de cada dose de gesso (Figura 14A), verifica-se que houve efeito significativo para todas as doses utilizadas, onde na ausência de doses de gesso, houve ajuste a uma equação quadrática com DMET de 3290 kg ha⁻¹ de calcário, apresentando produção máxima de palhada de 10700 kg ha⁻¹. Para a dose de 1500 kg ha⁻¹ de gesso, a DMET de calcário encontrada foi 3733 kg ha⁻¹, sendo que nesta combinação, foi obtido o aporte de fitomassa de 13930 kg ha⁻¹. A combinação da dose de 3000 kg ha⁻¹ de gesso com a DMET de 3698 kg ha⁻¹ de calcário proporcionou uma produtividade de massa de 13927 kg ha⁻¹. Entretanto, para a maior dose de gesso utilizada (4500 kg ha⁻¹), foi possível

observar que mediante aumento na dose de calcário, houve decréscimo linear no aporte de fitomassa seca de palha de milho, chegando a produzir 10555 kg ha^{-1} , cerca de 25% a menos que na maior produtividade de massa seca obtida.

Figura 14 - Desdobramento da interação significativa entre doses de calcário e gesso (A e B) e para sistemas e doses de calcário (C) para massa de matéria seca do milho (MMSM). Selvíria - MS, Brasil, 2016.



Fonte: Dados do próprio autor.

Para o desdobramento de gesso dentro de cada dose de calcário (Figura 14B), na ausência de aplicação de calcário, houve aumento linear na produtividade de massa seca do milho, comportamento semelhante ao encontrado para produtividade de grãos. Quando associou-se a dose de 2000 kg ha⁻¹ de calcário com a DMET de 2253 kg ha⁻¹ de gesso, foi possível obter acúmulo de fitomassa na ordem de 12547 kg ha⁻¹. Quanto à dose de 4000 kg ha⁻¹ de calcário associada à DMET de 2315 kg ha⁻¹ de gesso, a produtividade de palha chegou a 14210 kg ha⁻¹, corroborando com a combinação que proporcionou a maior produtividade de grãos de milho. Entretanto, na maior dose de calcário utilizada (6000 kg ha⁻¹), houve um decréscimo no acúmulo de biomassa, apresentando cerca de 10910 kg ha⁻¹, 23% a menos que na maior produção de palha obtida.

A produção de palhada do milho seguiu a mesma tendência encontrada para a produtividade de grãos, demonstrando forte correlação entre essas duas variáveis. A maior disponibilidade de macronutrientes para o desenvolvimento da cultura, provavelmente, foi o fator que mais influenciou no resultado obtido. Concomitante a este fato, o efeito mais rápido do gesso no perfil do solo corrigindo os efeitos tóxicos do Al⁺³, pode ter fornecido maiores condições de absorção de nutrientes e menor estresse a cultura (ZANDONÁ et al., 2015), refletindo no acúmulo de fitomassa.

Em relação ao desdobramento de sistemas x doses de calcário (Figura 14C), o milho quando em cultivo solteiro foi mais produtivo na produção de palha quando associado à DMET de 4612 kg ha⁻¹ de calcário, enquanto que para o milho sob consórcio com a *Urochloa* a DMET para o calcário foi de 3533 kg ha⁻¹, o que remete a uma redução de 23,4% de uso de corretivo. Em termos de produção de biomassa seca, o cultivo solteiro apresentou produtividade de 9629 kg ha⁻¹, enquanto o cultivo consorciado produziu 14482 kg ha⁻¹, 1,54 vezes superior.

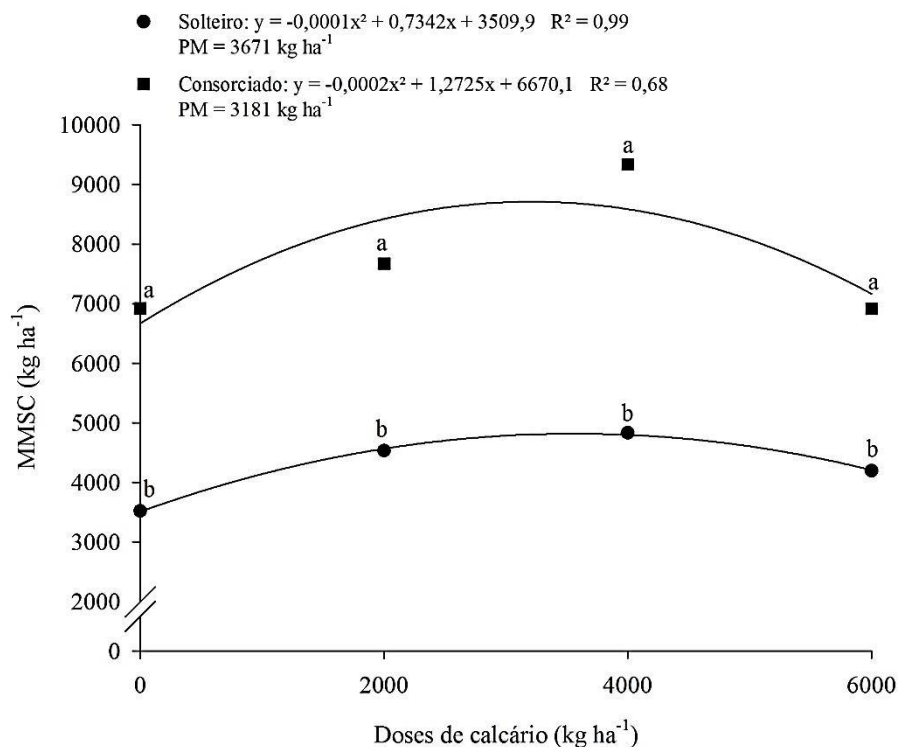
O consórcio se mostrou uma alternativa viável tecnicamente para o aumento no rendimento de grão e palhada seca da cultura do milho, independente da dose do corretivo. A *Urochloa* proporcionou condições de maior aproveitamento do N aplicado ao solo, o que repercutiu em maiores produtividades (JONES, 2013; KARWAT et al., 2017; COSKUN et al., 2017).

Em relação à alta produtividade de massa de matéria seca por área, a população de plantas de milho influenciou diretamente nestes valores, sendo os mesmos iguais ou maiores que a produtividade de grãos.

Após a colheita do milho, a área permaneceu sem manejo até a semeadura da soja, portanto, tanto a *Urochloa brizantha* cv. Marandu, quanto à vegetação espontânea

continuaram vegetando. Priori a instalação a cultura de verão, foi coletada a massa vegetal de cada unidade experimental e mensurada a produção da mesma em termos de acúmulo de massa de matéria seca da cobertura do solo (Tabela 7). Verificou-se que a produtividade de fitomassa seca apresentou efeito significativo para a interação entre sistemas e doses de calcário (Figura 15).

Figura 15 - Desdobramento da interação significativa entre sistemas e doses de calcário para massa de matéria seca das coberturas da área (MMSC). Selvíria - MS, Brasil, 2016.



Fonte: Dados do próprio autor.

Em relação ao acúmulo de fitomassa vegetal, é notória a maior produtividade de massa de matéria seca proveniente da *Urochloa*, independente do uso do corretivo do solo. Quanto às doses de calcário utilizadas, verifica-se que doses em torno de 3000 - 4000 kg ha⁻¹ proporcionaram as maiores produtividades de massa seca, para ambas as situações.

Devido ao fato de não ter ocorrido interferência no desenvolvimento tanto da *Urochloa*, quanto da vegetação espontânea onde o milho havia sido cultivado solteiro, e ainda, com presença de chuva e temperatura adequada, o aporte de biomassa vegetal foi alto, mesmo onde não havia *Urochloa*. Em média, foram produzidos 4270 kg ha⁻¹ de massa seca de vegetação espontânea e 7711 kg ha⁻¹ de fitomassa proveniente da *Urochloa*. Além da maior quantidade produzida neste último caso, é necessário enfatizar que a qualidade do material

sobre o solo é de muito melhor qualidade quando comparado às daninhas (CURY et al., 2012).

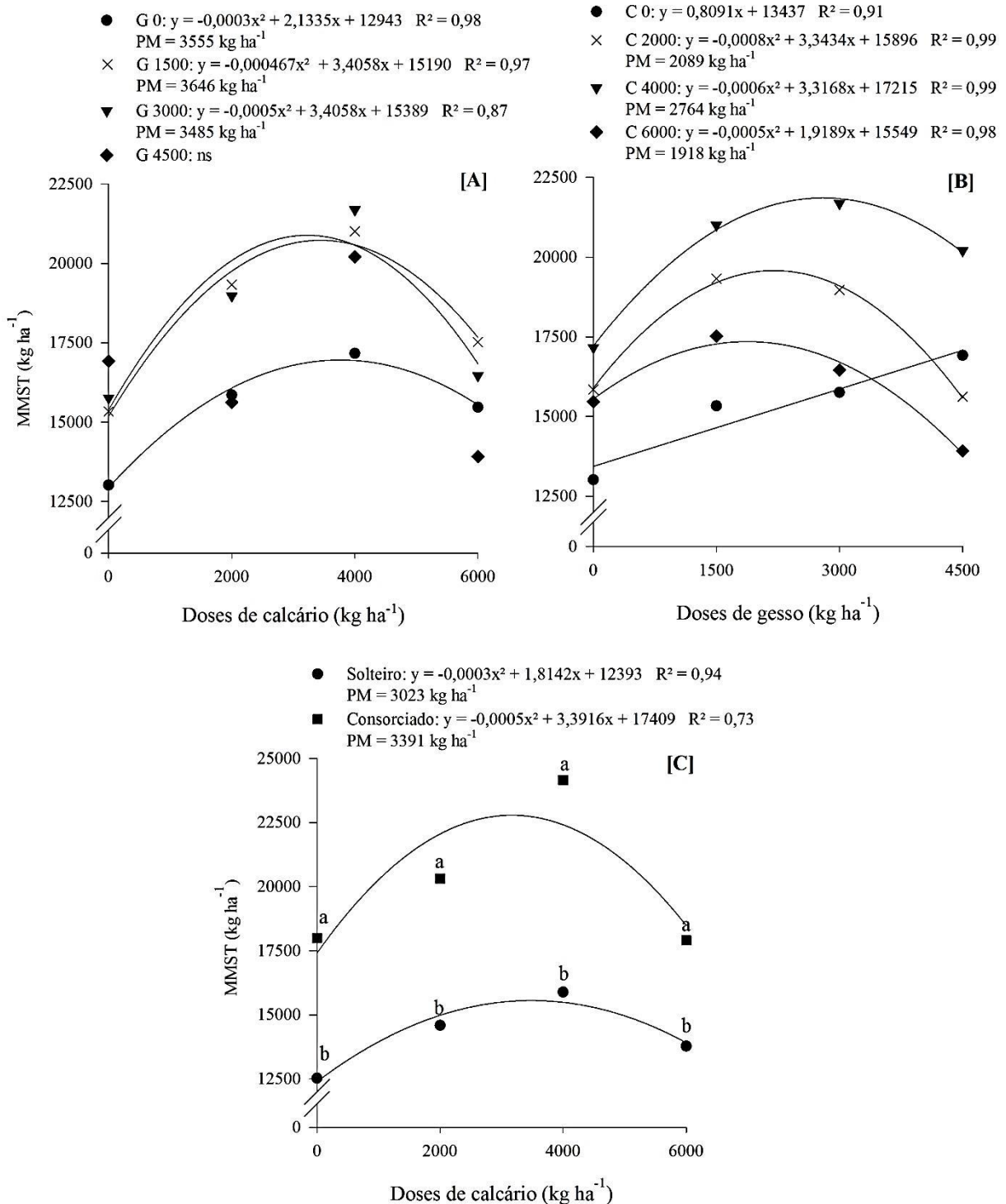
Nas parcelas onde não havia *Urochloa*, as plantas daninhas mais abundantes eram corda-de-viola (*Ipomoea grandifolia*), picão-preto (*Bidens pilosa*) e, principalmente, capim-amargoso (*Digitaria insularis*), sendo esta, a maior contribuinte para o aporte de fitomassa nestas parcelas. Determinadas plantas daninhas podem apresentar maiores teores de nutrientes em relação à *Urochloa*, porém, devido à sua baixa produção de matéria seca, apresentam menor retorno potencial destes ao sistema (RONCHI et al., 2003).

Estas plantas, além de terem a capacidade de infestar a área de cultivo (grande capacidade de reprodução), ainda podem ser hospedeiras de pragas, doenças e exercerem pressão de natureza alelopática (NEPOMUCENO et al., 2007), que tendem a causar problemas para a cultura subsequente. Outro fator a ser considerado é a capacidade por competição de fatores abióticos como água, luz e nutrientes (CURY et al., 2012). De acordo com Santos e Cury (2011) e Melo et al. (2015), *Bidens pilosa* e *Ipomoea grandifolia* podem promover elevada extração de nutrientes e quanto maior a extração, maior será o potencial competitivo com a cultura de interesse, podendo acumular altos teores de nitrogênio, fósforo e micronutrientes, além de ser plantas de difícil controle (CONSTANTIN et al., 2007). A respeito da *Digitaria insularis*, cabe ressaltar que nas últimas décadas, principalmente após o advento do início do sistema de plantio direto, a relevância desta espécie tem aumentado, principalmente em decorrência às suas características de agressividade (alta resistência aos mais utilizados herbicidas e formação de rizomas) (GEMELLI et al., 2012).

Em vista do exposto, é de suma importância a formação e palhada para atender as premissas do plantio direto, porém, é necessário que a mesma apresente alta qualidade, como é o caso da *Urochloa*.

A produção total de palhada proveniente do cultivo do milho solteiro e consorciado até o momento antecedente da semeadura da soja em dezembro apresentou interação significativa entre doses de calcário x gesso e sistemas x doses de calcário (Tabela 7). Os respectivos desdobramentos das interações estão apresentados na Figura 16.

Figura 16 - Desdobramento da interação significativa entre doses de calcário e gesso (A e B) e para sistemas e doses de calcário (C) para massa de matéria seca total produzida (MMST). Selvíria - MS, Brasil, 2016.



Fonte: Dados do próprio autor.

Desdobrando as doses de calcário dentro de cada dose de gesso (Figura 16A), verifica-se que com exceção da maior dose de gesso aplicada (4500 kg ha⁻¹), para as demais, incluindo ausência de aplicação, houve ajustes a equações quadráticas em função das doses de calcário.

Na ausência da aplicação de gesso, a dose de 3555 kg ha⁻¹ de calcário apresentou-se como DMET, proporcionando um acúmulo total de palhada entre todo o cultivo de 16736 kg ha⁻¹, enquanto na dose de 1500 kg ha⁻¹ de gesso, a DMET de calcário e produtividade máxima de palha obtida foram de 3646 e 21396 kg ha⁻¹, respectivamente, apresentando um aumento de 1,28 vezes em relação à ausência de aplicação de gesso. Na dose de 3000 kg ha⁻¹ de gesso, a DMET de calcário encontrada foi de 3485 kg ha⁻¹, obtendo produção total de palhada de 21185 kg ha⁻¹, apresentando pouca diferença em relação ao tratamento anterior.

Observando o desdobramento de gesso dentro de cada dose de calcário (Figura 16B), é possível observar que na ausência de aplicação de calcário, houve acúmulo linear na quantidade de palhada acumulada, chegando a 17078 kg ha⁻¹ na maior dose de gesso. A quantidade de palha oriunda da associação das doses de 2000 kg ha⁻¹ de calcário com 2089 kg ha⁻¹ de gesso aumentou em relação à ausência de aplicação do mesmo, atingindo 19389 kg ha⁻¹. Na dose de 4000 kg ha⁻¹ de calcário, a DMET de gesso foi de 2764 kg ha⁻¹, com acúmulo total de palha de 21798 kg ha⁻¹. Em contrapartida, quando utilizou-se a dose de 6000 kg ha⁻¹ de calcário, mesmo associado a DMET de gesso de 1918 kg ha⁻¹, o valor máximo obtido foi 1,25 vezes menor que a maior produtividade, encontrada na combinação 4000 kg ha⁻¹ de calcário e 2764 kg ha⁻¹ de gesso. Também, assemelhou-se com a produtividade máxima de palha na ausência de aplicação de calcário.

Como visto anteriormente, a tendência do acúmulo total de palhada é semelhante ao encontrado para massa de matéria seca de parte aérea do milho e a produtividade de grãos. Estes fatores estão diretamente relacionados, uma vez que a melhor combinação entre os tratamentos utilizados proporcionam melhor condição nutricional para as atividades fisiológicas das culturas, favorecendo seu potencial produtivo.

Em relação ao estudo de sistema e doses de calcário, verifica-se no desdobramento (Figura 16C) que o milho no sistema de cultivo solteiro, independente da dose de calcário utilizada, apresentou acúmulo total de palhada inferior ao cultivo do milho consorciado. Quanto às DMET de calcário, a produtividade total de palha (milho + plantas espontâneas) na dose de 3023 kg ha⁻¹ de calcário foi de 15135 kg ha⁻¹, enquanto no milho consorciado (milho + *Urochloa brizantha* cv. Marandu) na dose de 3391 kg ha⁻¹, o acúmulo total foi de 21798 kg ha⁻¹, ou seja, 1,53 vezes superior em quantidade e, claro, com uma qualidade superior, como visto anteriormente.

De acordo com Floss (2000), para que haja sucesso no sistema de semeadura direta, é de suma importância que as culturas de inverno sejam formadoras de grande quantidade de palha, bem como apresentar alta relação C/N, como as gramíneas, permitindo, assim, maior

durabilidade sobre o solo. Muito discute-se sobre a quantidade mínima de palha necessária para a manutenção do sistema plantio direto, sendo esta, muito variável entre as diversas condições de clima e solo (SÁ et al., 2003). Segundo Cordeiro (1999) e Amado (2000), a quantidade mínima necessária para a manutenção do sistema em condições tropicais é de 10 toneladas $\text{ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$. Bayer et al. 2006, afirmam que para esta mesma condição de clima, é necessário no mínimo 12 toneladas $\text{ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$, entretanto, esta exigência é dita ainda maior nos dias de hoje, principalmente em sistema irrigado, podendo chegar a 20 toneladas $\text{ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$ para manter o sistema estável (SÁ et al., 2015).

4.3 CULTURA DA SOJA - SAFRA 2016/17

O efeito residual da aplicação de calcário e /ou gesso alteraram os teores de N foliar encontrados para a cultura da soja, entretanto, não se observou efeito da palha produzida safra de outono/inverno (Tabela 8). Desdobrando a interação, quando se comparou calcário dentro de cada dose de gesso, foi possível verificar que na ausência de gesso, os teores foliares de N aumentaram linearmente mediante acréscimo nas doses de calcário até 47 g kg^{-1} (Figura 17A). Ao utilizar a dose de 1500 kg ha^{-1} de gesso, as médias ajustaram-se a uma equação quadrática, apresentando DMET de 3214 kg ha^{-1} de calcário, apresentando teor máximo de N de $49,83 \text{ g kg}^{-1}$. Na dose de 3000 kg ha^{-1} de gesso, a DMET de calcário reduziu-se para 2518 kg ha^{-1} e o teor foliar aumentou para $50,78 \text{ g kg}^{-1}$. Ao combinar a maior dose de gesso (4500 kg ha^{-1}) com a DMET de 2580 kg ha^{-1} de calcário, foi possível obter o teor de N foliar de $52,87 \text{ g kg}^{-1}$. No desdobramento de gesso dentro de cada dose de calcário, as médias ajustaram-se a equações lineares crescentes em função das doses de gesso, com exceção da maior dose de calcário que apresentou comportamento inverso aos demais (Figura 17B). Para a ausência de aplicação de calcário, 2000 e 4000 kg ha^{-1} , os teores máximos de N encontrados foram obtidos na maior dose de gesso (4500 kg ha^{-1}), sendo os mesmos $47,68$, $53,13$ e $54,6 \text{ g kg}^{-1}$, respectivamente. Em contrapartida, quando utilizou-se a maior dose de calcário (6000 kg ha^{-1}), a medida em que se aumentou a dose de gesso, houve decréscimo nos teores de N encontrados, atingindo $36,32 \text{ g kg}^{-1}$, ou seja, uma redução de $33,4\%$.

Tabela 8 - Valores de F e médias encontradas para os teores foliares de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S) de soja em função dos tratamentos. Selvíria - MS, Brasil, 2016/17.

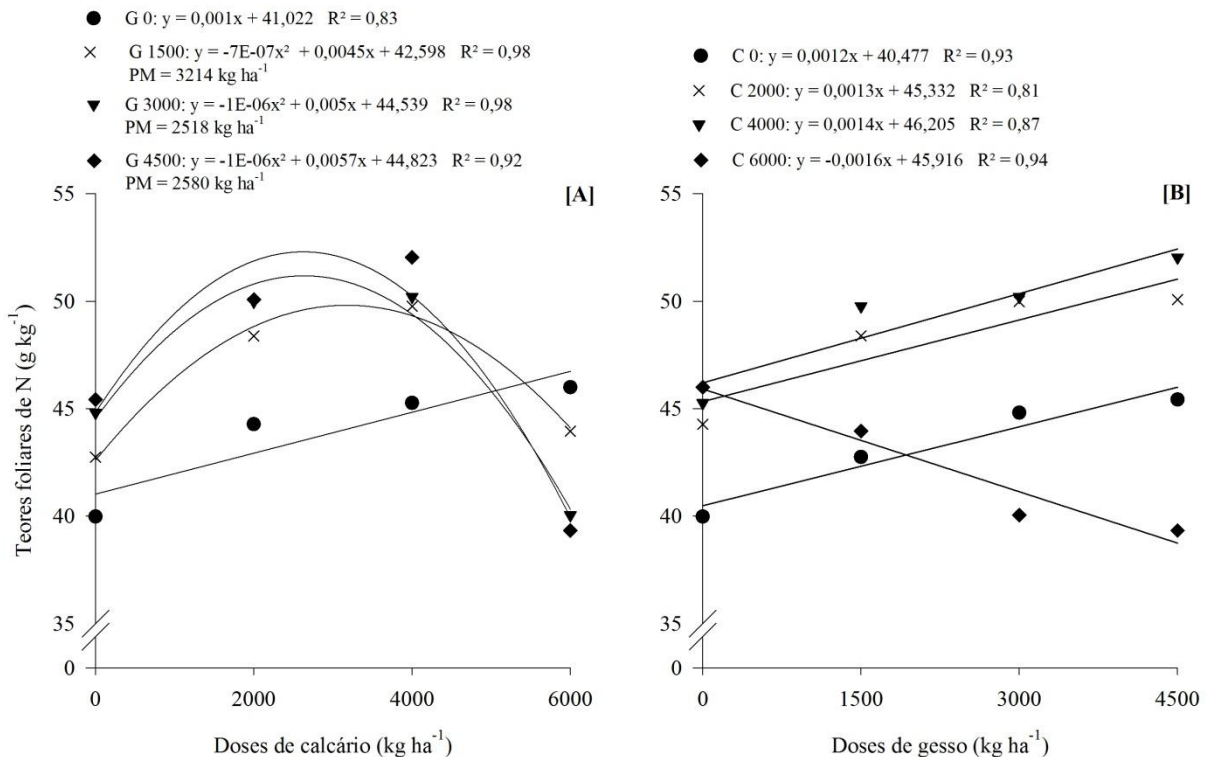
TRATAMENTOS	N	P	K	Ca	Mg	S
	----- (g kg ⁻¹) -----					
SISTEMA (S)						
Solteiro	46,00	2,93	20,52	8,86	6,96	2,83
Consoiciado	45,52	2,79	20,28	8,92	6,84	2,82
CALCÁRIO kg ha⁻¹ (C)						
0	43,23	2,78	20,71	8,00	6,61	2,63
2000	48,19	2,75	20,05	8,87	6,90	2,85
4000	49,32	2,84	20,16	8,88	7,04	2,97
6000	42,28	3,08	20,68	9,82	7,06	2,85
GESSO kg ha⁻¹ (G)						
0	43,87	2,82	19,42	7,87	6,88	2,33
1500	46,21	2,77	20,29	9,20	6,94	2,70
3000	46,25	2,92	21,32	9,01	6,94	2,87
4500	46,72	2,93	20,57	9,40	6,84	3,41
<i>Teste F</i>						
S	0,17 ^{ns}	82,51 ^{ns}	0,09 ^{ns}	66,94 ^{ns}	0,56 ^{ns}	1,80 ^{ns}
C	8,66 [*]	42,28 ^{**}	0,95 ^{ns}	3,86 [*]	11,39 ^{**}	0,31 ^{ns}
G	2,02 ^{ns}	2,72 ^{ns}	2,21 ^{ns}	3,94 [*]	0,15 ^{ns}	14,70 ^{**}
S x C	0,44 ^{ns}	3,68 ^{ns}	0,32 ^{ns}	0,03 ^{ns}	6,11 [*]	0,00 ^{ns}
S x G	0,14 ^{ns}	0,51 ^{ns}	0,55 ^{ns}	0,03 ^{ns}	1,05 ^{ns}	0,00 ^{ns}
C x G	2,59 [*]	2,14 ^{ns}	1,65 ^{ns}	2,62 [*]	0,42 ^{ns}	1,29 ^{ns}
S x C x G	0,71 ^{ns}	0,44 ^{ns}	0,54 ^{ns}	0,04 ^{ns}	0,92 ^{ns}	0,00 ^{ns}
Média geral	45,76	2,86	20,40	8,89	6,90	2,82
DMS sistema	11,29	0,19	10,28	0,08	1,21	0,02
RL calcário	0,09 ^{ns}	43,57 ^{**}	0,00 ^{ns}	10,43 ^{**}	28,99 ^{**}	0,48 ^{ns}
RQ calcário	25,24 ^{**}	73,22 ^{**}	2,79 ^{ns}	0,01 ^{ns}	5,18 ^{ns}	0,43 ^{ns}
RL gesso	4,52 [*]	2,15 ^{ns}	3,62 ^{ns}	8,28 ^{**}	0,03 ^{ns}	42,36 ^{**}
RQ gesso	1,08 ^{ns}	1,06 ^{ns}	2,35 ^{ns}	2,16 ^{ns}	0,42 ^{ns}	0,51 ^{ns}
CV (%) subsubparcela	7,88	3,63	10,34	15,62	7,46	16,52

Nota: Médias seguidas de letra iguais, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

** significativo $p < 0,01$; * significativo $0,01 < p < 0,05$; ns: não significativo

Fonte: Dados do próprio autor.

Figura 17 - Desdobramento da interação significativa entre doses de calcário e gesso para os teores foliares de N. Selvíria - MS, Brasil, 2016/17.



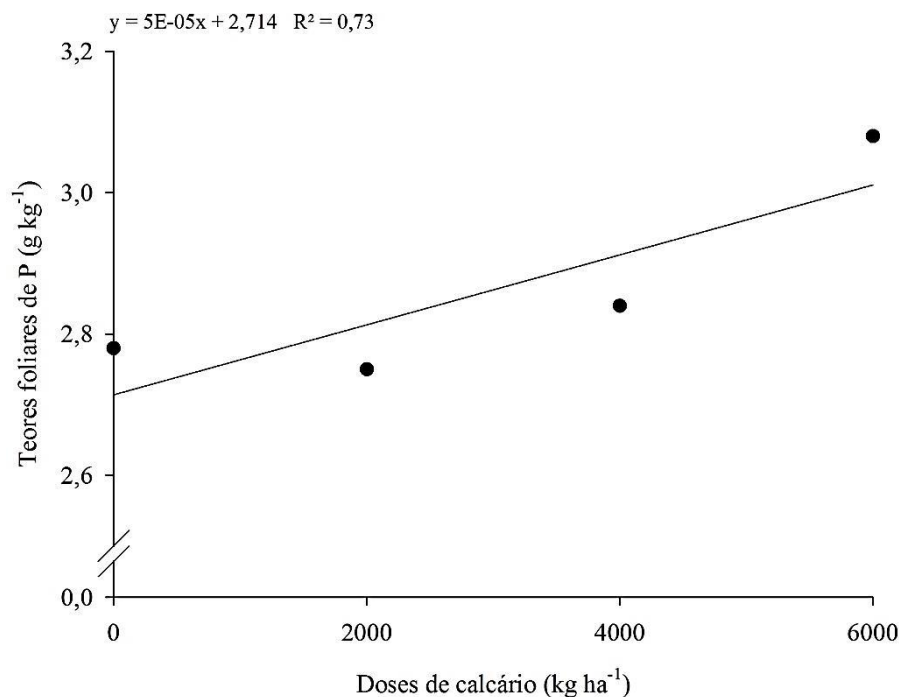
Fonte: Dados do próprio autor.

O aumento no teor de N pode ser ocasionado pela maior absorção radicular em função de maior mineralização do nitrogênio do solo em função da elevação do pH, principalmente nas primeiras camadas do solo, onde se encontra maiores teores de matéria orgânica (ROSOLEM et al., 2003). Também pode estar associado ao aumento na disponibilidade de molibdênio, um micronutriente que exerce um papel fundamental na fixação biológica de N (SORATTO, 2005), e, ainda, associado aos efeitos benéficos do gesso, como redução do Al⁺³, o sistema radicular da cultura pode se desenvolver melhor, ocupando uma maior volume no solo e absorvendo mais N (CAIRES et al., 2011). Quanto ao decréscimo no teor de N encontrado na maior dose de calcário em função do aumento das doses de gesso, associa-se ao fato de que altas quantidades de gesso podem promover aumento na lixiviação de bases trocáveis como o Ca e o Mg, por formarem pares iônicos com o S-SO₄²⁻, sendo que o Mg é átomo central da clorofila (WANG et al., 2014). Estes autores também relatam que com a redução nos teores de Mg, reduz-se a quantidade de N na planta, uma vez que parte deste N absorvido faria parte da clorofila junto ao Mg. A faixa ideal de N foliar para a cultura da soja segundo Malavolta et al. (1997) é de 45-55 g kg⁻¹, portanto, com exceção do tratamento com

excesso de calagem e gessagem, os demais encontravam-se dentro da faixa considerada ideal para a cultura.

Houve aumento linear nos teores de P foliar mediante aumento nas doses de calcário, sendo que na maior dose deste insumo, o teor máximo foliar de P foi de 3,01 g kg⁻¹ (Figura 18). A faixa ideal de concentração foliar deste nutriente está entre 2,6-5,0 g kg⁻¹ (MALAVOLTA et al., 1997). A elevação do pH principalmente nas primeiras camadas do solo, permitem uma maior disponibilidade de P oriundo dos fosfatos solúveis, tornando o P mais disponível para as plantas nesta dada condição (DIAS et al., 2015). A adsorção do P proveniente dos fertilizantes é reduzida em condições onde o solo não apresenta reação ácida, o que garante maior suprimento deste elemento para o pleno desenvolvimento da planta (ERNANI, 2008).

Figura 18 - Teores foliares de P em função das doses de calcário reaplicadas ao solo. Selvíria - MS, Brasil, 2015/16.



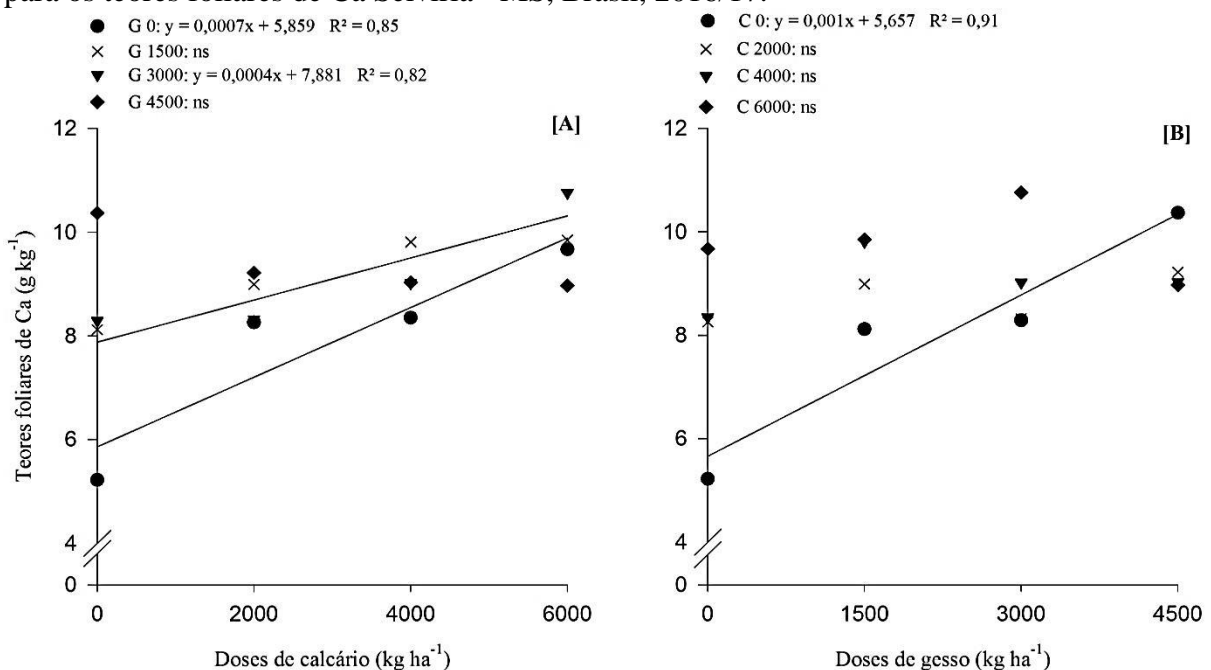
Fonte: Dados do próprio autor.

Em relação aos teores foliares de K (Tabela 8), não verificou-se efeito significativo de nenhum dos fatores causais estudados, apresentando em média 20,4 g kg⁻¹, estando o mesmo dentro da faixa considerada ideal (17-25 g kg⁻¹), segundo Malavolta et al., 1997. A ausência de efeito significativo em relação aos teores encontrados pode estar associada ao fato deste elemento ser um dos primeiros a ser lixiviados no processo de ciclagem de nutrientes provenientes dos restos culturais (WENDLING et al., 2008). Como o K não fica incorporado

às cadeias carbônicas, após a senescência das plantas, ele é rapidamente retornado ao solo em forma prontamente disponível para absorção pelas culturas (ROSOLEM et al., 2007), portanto a palhada se torna uma grande reserva do mesmo. Como visto anteriormente, a cultura da soja sucedeu a uma grande quantidade de palha produzida pelo cultivo anterior, portanto, o retorno do K ao solo pôde ter suprido as necessidades da cultura, além do K fornecido no ato da semeadura.

Os teores de cálcio foram influenciados pela interação entre doses de calcário e gesso (Figura 19A), sendo que na ausência de aplicação de gesso, os teores aumentaram linearmente até $10,06 \text{ g kg}^{-1}$, sendo o mesmo comportamento observado para a dose de 3000 kg ha^{-1} de gesso, na qual o teor de Ca obtido foi de $10,28 \text{ g kg}^{-1}$, ou seja, não apresentou grandes flutuações. No desdobramento de gesso dentro de cada dose de calcário (Figura 19B), houve ajuste significativo apenas para a ausência de aplicação de calcário, onde o incremento nas doses de gesso elevaram os teores de Ca foliares até o valor máximo de $10,16 \text{ g kg}^{-1}$. Os teores foliares de Ca foram mais influenciados apenas pela adição de um dos insumos, sendo que doses maiores forneceram maiores quantidades de Ca ao solo e conseqüentemente, para as plantas. O calcário dolomítico utilizado apresentava 40% de CaO e o gesso, cerca de 22% de Ca, ou seja, ambos forneceram Ca ao sistema. Em relação a faixa descrita como ideal para os teores de Ca foliar para a cultura da soja, Malavolta et al. (1997) considera como sendo entre $4,0\text{-}20,0 \text{ g kg}^{-1}$, estando, portanto, dentro do estipulado.

Figura 19 - Desdobramento da interação significativa entre doses de calcário e gesso (A e B) para os teores foliares de Ca Selvíria - MS, Brasil, 2016/17.

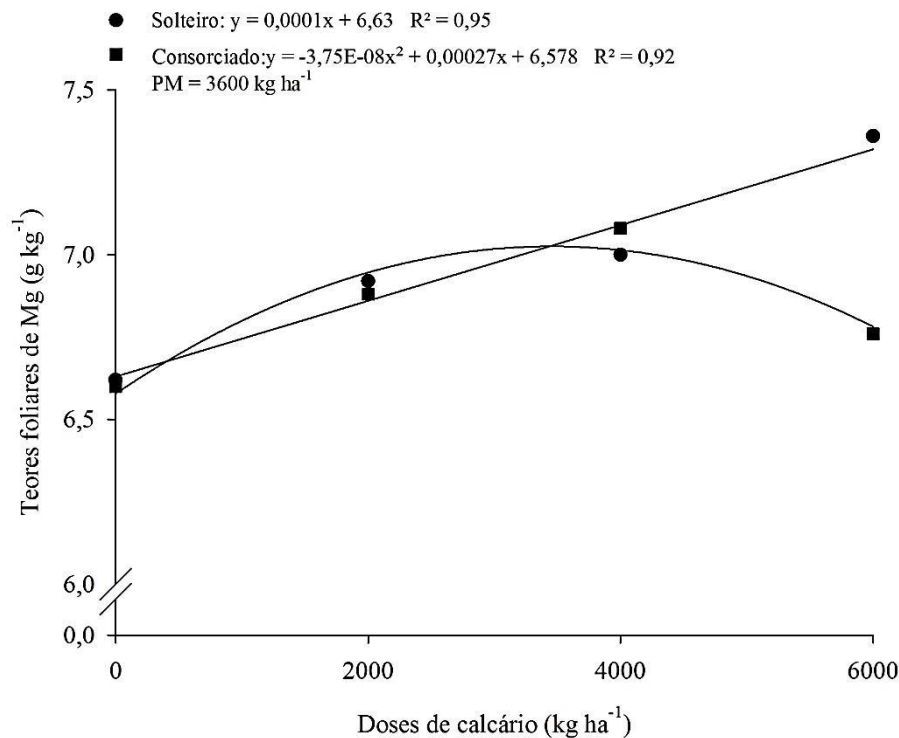


Fonte: Dados do próprio autor.

O Ca para a cultura da soja é um elemento indispensável, sendo o mesmo responsável por estar diretamente relacionado ao processo de infecção da raiz para a formação dos nódulos radiculares pelas bactérias do gênero *Bradirhizobium*. Este nutriente é modulador da atividade de infecção dos pelos radiculares, sendo que neste processo há a presença de uma enzima extremamente importante, denominada “ectoapirase” (TANAKA et al., 2010; TANAKA et al., 2011). Estes autores afirmam que esta enzima depende do Ca para ser ativada e então ela ser expressa. A ativação da mesma permite controlar o nível de nucleotídeos extracelulares na superfície pelo radicular, o que aumenta o processo de sinalização ao processo simbiótico. Outra hipótese descrita é que esta enzima possui a capacidade de reduzir a quantidade de ATP extracelular, reduzindo o mecanismo de defesa da planta, o qual é capaz de combater até mesmo a infecção pelas bactérias nodulíferas (TANAKA et al., 2010). Altos teores de ATP induzem a produção de espécies reativas de oxigênio (EROs), como o H_2O_2 , responsável por combater a infecção de uma grande gama de patógenos ou até mesmo, organismos simbiontes (CLARK et al., 2010).

Os teores de Mg foram influenciados pela interação entre sistemas e doses de calcário (Figura 20). A soja cultivada sobre o milho em sistema de cultivo solteiro apresentou aumento linear nos teores de Mg foliares mediante aumento na dose de calcário, atingindo $7,23 \text{ g kg}^{-1}$. Para o cultivo da soja sobre milho consorciado, as médias ajustaram-se a uma equação quadrática, apresentando DMET de 3600 kg ha^{-1} de calcário, onde obteve um teor de Mg de $7,06 \text{ g kg}^{-1}$, estando ambos dentro da faixa considerada adequada para a cultura da soja ($3,0\text{-}10,0 \text{ g kg}^{-1}$), segundo recomendações de Malavolta et al., 1997. Em relação ao sistema dentro de cada dose de calcário, foi possível observar que não houve diferença significativa entre os sistemas em cada uma das doses de calcário, assemelhando-se os valores obtidos.

Figura 20 - Desdobramento da interação significativa entre sistemas e doses de calcário para teores foliares de Mg. Selvíria - MS, Brasil, 2016.



Fonte: Dados do próprio autor.

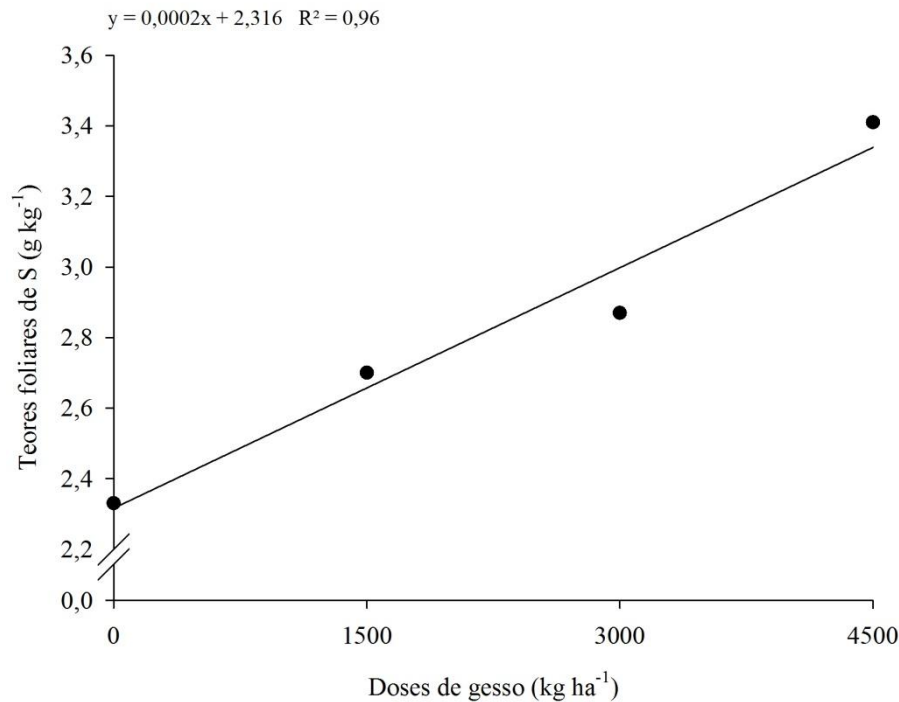
No cultivo do milho consorciado, como exposto anteriormente, a *Urochloa* provavelmente proporcionou condições de arraste de Mg para camadas mais profundas, aumentando a quantidade de Mg absorvido pela planta de soja em sucessão. Com isso, a quantidade necessária de calcário a ser aplicada na área foi reduzida em relação ao cultivo do milho solteiro com a soja na sequência (JUNIOR et al., 2013). Em termos nutricionais, foi necessária a aplicação de uma dose maior do corretivo para que aumentasse a quantidade de Mg absorvido pela planta, enquanto na presença de *Urochloa* na área, a distribuição do corretivo pode ter sido melhor no perfil do solo, potencializando os resultados.

O Mg é de grande importância no sistema produtivo, uma vez que é o elemento central da molécula de clorofila e o maior ativador enzimático. É móvel quanto à redistribuição na planta. Forte atuante no controle do pH nas células e no balanço de cargas, além de ser constituinte de ribossomos e cromossomos (CAMMARANO et al., 1972). Estes fatos demonstram a importância deste nutriente no metabolismo celular e, por extensão, no crescimento e na produtividade das culturas (NASCIMENTO et al., 2009).

Os teores foliares de S aumentaram linearmente em função do acréscimo nas doses de gesso, chegando a 3,22 g kg⁻¹ (Figura 21). Segundo Malavolta et al. (1997), os teores de S

ditos adequados para a cultura da soja está entre 2,1-4,0 g kg⁻¹, corroborando com os valores obtidos, mesmo na ausência de aplicação do insumo.

Figura 21 - Teores foliares de S em função das doses de gesso reaplicadas ao solo. Selvíria - MS, Brasil, 2015/16.



Fonte: Dados do próprio autor.

Deve-se ressaltar que o gesso é excelente fonte desse nutriente (CAIRES et al, 1998). O aumento nos teores de S foliares deve-se ao fato do gesso fornecer uma quantidade considerável de S-SO₄²⁻ ao solo, passível de absorção pelas plantas, suprindo suas necessidades (CAIRES et al., 2004). Em solos de cerrado, com baixo teor de matéria orgânica, a adição de S ao sistema é de suma importância, garantindo que as culturas obtenham altas produtividades (VITTI et al., 2007). Em geral, solos com alta intensidade de exploração, com uso de formulações de fertilizantes desprovidos de S, podem apresentar baixa disponibilidade desse nutriente (NOGUEIRA; MELO, 2003). Ainda, é necessário ressaltar que a soja é a cultura de maior capacidade de exportação de S dentre as cultivadas no Brasil (YAMADA; LOPES, 1998), sendo responsável por exportar em média 5,4 kg t⁻¹ de grãos (EMBRAPA, 1993). Neste cenário, o uso de gesso como condicionador de subsuperfície e, aliado a disponibilização de S, assegurando menor redução ao potencial produtivo das culturas (VITTI et al., 2007).

Os teores foliares de cobre foram influenciados pela interação significativa entre doses de calcário e gesso (Tabela 9).

Tabela 9 - Valores de F e médias encontradas para os teores foliares de cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn) de soja em função dos tratamentos. Selvíria - MS, Brasil, 2016/17.

TRATAMENTOS	Cobre	Ferro	Manganês	Zinco
	----- (mg kg ⁻¹) -----			
SISTEMA (S)				
Solteiro	16,22	249,25	94,28	53,84
Consoiciado	15,68	260,09	123,65	54,59
CALCÁRIO kg ha⁻¹ (C)				
0	16,50	252,37	109,43	57,62
2000	17,43	273,43	116,62	57,37
4000	17,44	275,81	111,43	54,56
6000	12,44	217,06	98,37	47,31
GESSO kg ha⁻¹ (G)				
0	14,87	250,00	111,00	57,12
1500	15,75	261,25	115,25	51,37
3000	16,31	256,00	108,12	53,06
4500	16,87	251,43	101,50	55,31
<i>Teste F</i>				
S	5,90 ^{ns}	12,80 ^{ns}	25,00 ^{ns}	0,01 ^{ns}
C	37,74 ^{**}	32,44 ^{**}	1,85 ^{ns}	13,51 ^{**}
G	12,08 ^{**}	0,47 ^{ns}	3,26 ^{ns}	1,13 ^{ns}
S x C	3,56 ^{ns}	1,20 ^{ns}	2,04 ^{ns}	1,33 ^{ns}
S x G	2,88 ^{ns}	0,83 ^{ns}	0,82 ^{ns}	1,07 ^{ns}
C x G	3,99 ^{**}	1,18 ^{ns}	2,07 ^{ns}	0,67 ^{ns}
S x C x G	0,92 ^{ns}	0,94 ^{ns}	0,96 ^{ns}	0,39 ^{ns}
Média geral	15,95	254,67	108,96	54,21
DMS sistema	2,78	38,51	74,64	88,94
RL calcário	49,28 ^{**}	23,52 ^{**}	2,30 ^{ns}	6,00 ^{**}
RQ calcário	58,48 ^{**}	69,86 ^{**}	3,20 ^{ns}	1,86 ^{ns}
RL gesso	35,76 ^{**}	0,00 ^{ns}	3,89 ^{ns}	0,13 ^{ns}
RQ gesso	0,41 ^{ns}	1,14 ^{ns}	1,81 ^{ns}	2,85 ^{ns}
CV (%) subsubparcela	6,15	11,64	14,82	17,48

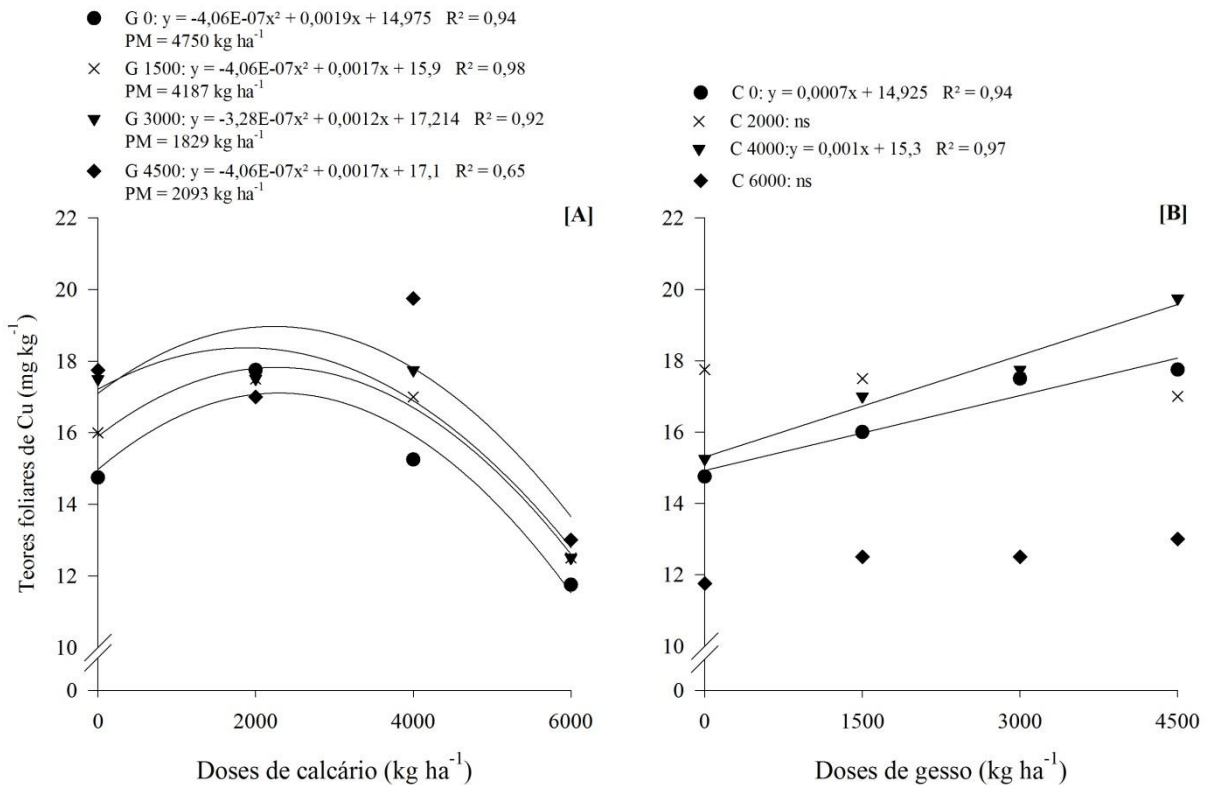
Médias seguidas de letra iguais, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

** significativo $p < 0,01$; * significativo $0,01 < p < 0,05$; ns: não significativo

Fonte: Dados do próprio autor.

No desdobramento de calcário dentro de cada dose de gesso (Figura 22A), verifica-se para todas as doses de gesso utilizadas, incluído a ausência de aplicação, as médias ajustaram-se a equações quadráticas, apresentando DMET e teores de Cu máximos de 4750, 4187, 1829 e 2093 kg ha⁻¹ de calcário e 14,84, 15,90, 18,31 e 18,88 g kg⁻¹. À medida que houve acréscimo nas doses de gesso, as DMET de calcário foram reduzidas, associado ao fato de que nas maiores doses, foram obtidos os menores teores deste micronutriente.

Figura 22 - Desdobramento da interação significativa entre doses de calcário e gesso (A e B) para os teores foliares de Cu. Selvíria - MS, Brasil, 2016/17.



Fonte: Dados do próprio autor.

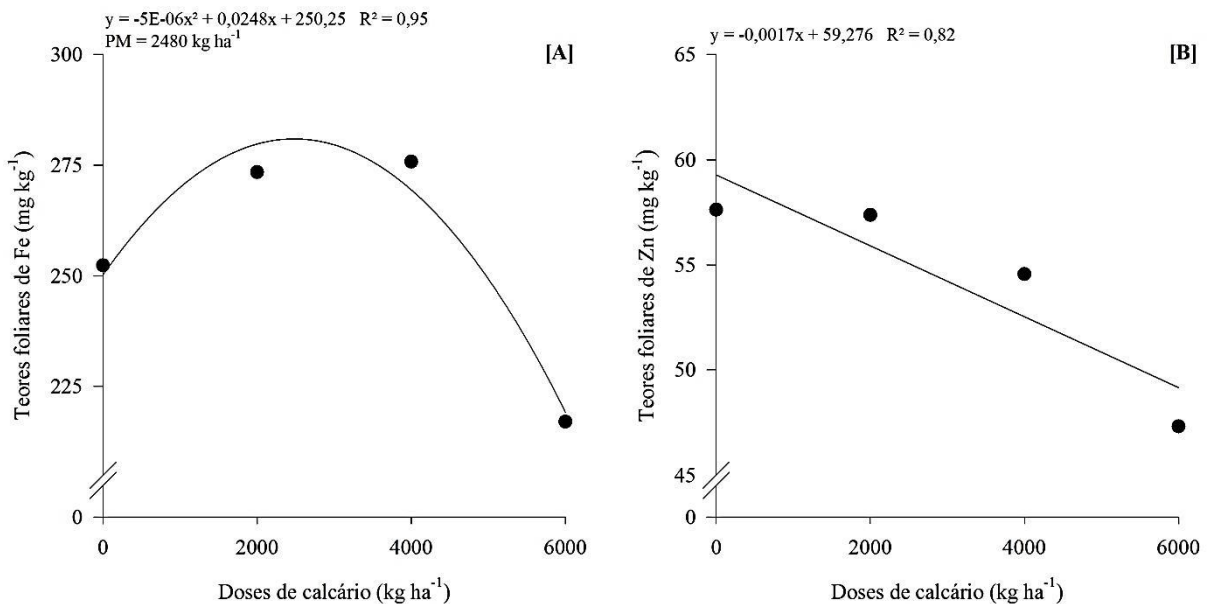
Desdobrando-se as doses de gesso dentro de cada dose de calcário, foi possível observar que para ausência da aplicação de calcário e para a dose de 4000 kg ha⁻¹, as médias ajustaram-se a equações lineares crescentes, mediante acréscimo nas doses de gesso, obtendo teores máximos de Cu 18,07 e 19,80 g kg⁻¹. Segundo Malavolta et al. (1997), os teores adequados de Cu para a cultura da soja estão dentro da faixa de 10,0-30,0 g kg⁻¹, portanto, estando todos os valores dentro dos padrões preestabelecidos.

O aumento no fornecimento de calcário no sistema agrícola promove elevação abrupta do pH do solo, reduzindo a disponibilidade de micronutrientes catiônicos divalentes, como o Cu, por exemplo, porém, é sabido que o acerto na quantidade a ser utilizada, aumenta sua disponibilidade na solução do solo e posteriormente, absorção pela planta SUMNER et al., 1978; SORATTO, 2005; CAIRES et al., 2011).

Em relação à concentração dos íons metálicos Fe e Zn, observou-se influência significativa das doses de calcário, apenas, onde para o Fe (Figura 23A), houve ajuste a uma equação quadrática, apresentando DMET de 2840 kg ha⁻¹ e teor máximo de 281 g kg⁻¹, sendo que doses superiores a esta, promoveram decréscimo acentuado nas concentrações deste micronutriente nos tecidos foliares da soja. Em contrapartida, para o Zn (Figura 23B), os

teores foliares do mesmo decresceu linearmente mediante elevação nas doses de calcário, chegando a acumular 49 g kg^{-1} . Para ambos os micronutrientes, seus teores são classificados como adequados para a cultura, segundo recomendação de Malavolta et al. 1997, sendo as quais $51,0\text{-}350,00 \text{ g kg}^{-1}$ para o ferro e $21,0\text{-}50,0 \text{ g kg}^{-1}$ para o zinco.

Figura 23 - Teores foliares de Fe (A) e Zn (B) em função das doses de calcário reaplicadas ao solo. Selvíria - MS, Brasil, 2015/16.



Fonte: Dados do próprio autor.

O Fe é um dos micronutrientes mais abundantes no solo, portanto, mesmo com a redução de seus teores provenientes da aplicação de elevadas doses de calcário, seus teores se enquadram na recomendação para a cultura. O Zn, além de ser indisponibilizado pela elevação abrupta do pH, o mesmo também apresenta forte inibição competitiva com o Ca fornecido pelo calcário (GALON et al., 1996), o que reduz ainda mais seus teores disponíveis no solo e, conseqüentemente, na planta.

Os teores de Mn (Tabela 9) não foram influenciados significativamente pelos tratamentos utilizados. Em média, a cultura da soja apresentou concentração foliar de Mn de $108,96 \text{ g kg}^{-1}$ teor considerado acima da faixa ideal ($21,0\text{-}100,0 \text{ g kg}^{-1}$), segundo recomendações de Malavolta et al. (1997). Após o ferro, o manganês é o micronutriente que aparece em maiores concentrações no solo, principalmente em solos com reação ácida, como os de cerrado (LAVRES JUNIOR et al., 2008). A calagem entra como uma alternativa para redução deste elemento em níveis tóxicos, porém, existe grande variação genotípica entre os cultivares utilizados quanto sintoma de deficiência e toxidez por este elemento (LAVRES JUNIOR et al., 2009).

O aporte de massa seca da parte aérea das plantas de soja aumentou quando cultivada sobre restos culturais do milho consorciado com *Urochloa brizantha* cv. Marandu (Tabela 10). A qualidade da palha deixada pelo consórcio pode ter influenciado no maior desempenho da soja em sucessão, uma vez que a ciclagem de nutrientes proveniente da fitomassa produzida ficou passível de absorção (PACHECO et al., 2017). Cabe ressaltar também que, solos cultivados com *Urochloa* apresentam redução na atividade nitrificante do solo, fazendo com que o residual de N no solo, seja ele proveniente da adubação de cobertura no milho e/ou da ciclagem de nutrientes, permaneça na forma de NH_4^+ e por mais tempo ligado a CTC do solo sem que haja perda por lixiviação e/ou desnitrificação (SUBBARAO et al., 2015). De acordo com Brancalião et al. (2015), a soja responde positivamente à disponibilidade de N nos estágios iniciais de desenvolvimento, uma vez que a consolidação da infecção radicular pelas bactérias fixadoras de nitrogênio se dá após apenas 15 dias de seu surgimento.

Tabela 10 - Valores de F e médias encontradas para massa de matéria seca de parte aérea de soja (MMSPA), altura de plantas e altura de inserção da primeira vagem de soja em função dos tratamentos. Selvíria - MS, Brasil, 2016/17.

TRATAMENTOS	MMSPA (kg ha ⁻¹)	Altura de plantas ----- (cm) -----	Inserção
SISTEMA (S)			
Solteiro	4559 b	71,56	10,38
Consoviado	5006 a	70,38	10,80
CALCÁRIO kg ha⁻¹ (C)			
0	3830	69,19	10,90
2000	4984	71,93	9,64
4000	5145	71,32	10,65
6000	5170	71,44	11,18
GESSO kg ha⁻¹ (G)			
0	4357	69,48	10,97
1500	4765	73,22	10,24
3000	5108	71,28	10,53
4500	4899	69,96	10,62
<i>Teste F</i>			
S	52,25 **	0,60 ^{ns}	7,78 ^{ns}
C	26,68 **	0,27 ^{ns}	2,64 ^{ns}
G	4,88 **	0,70 ^{ns}	0,64 ^{ns}
S x C	0,39 ^{ns}	0,32 ^{ns}	1,51 ^{ns}
S x G	0,23 ^{ns}	0,68 ^{ns}	1,35 ^{ns}
C x G	2,36 *	0,94 ^{ns}	1,36 ^{ns}
S x C x G	0,54 ^{ns}	1,46 ^{ns}	1,32 ^{ns}
Média geral	4782	70,97	10,59
DMS sistema	197	4,86	0,47
RL calcário	56,91 **	0,34 ^{ns}	1,01 ^{ns}
RQ calcário	20,76 **	0,31 ^{ns}	2,69 ^{ns}
RL gesso	9,44 **	0,02 ^{ns}	0,21 ^{ns}
RQ gesso	4,64 **	1,57 ^{ns}	1,17 ^{ns}
CV (%) subparcela	16,94	15,88 ^{ns}	20,06

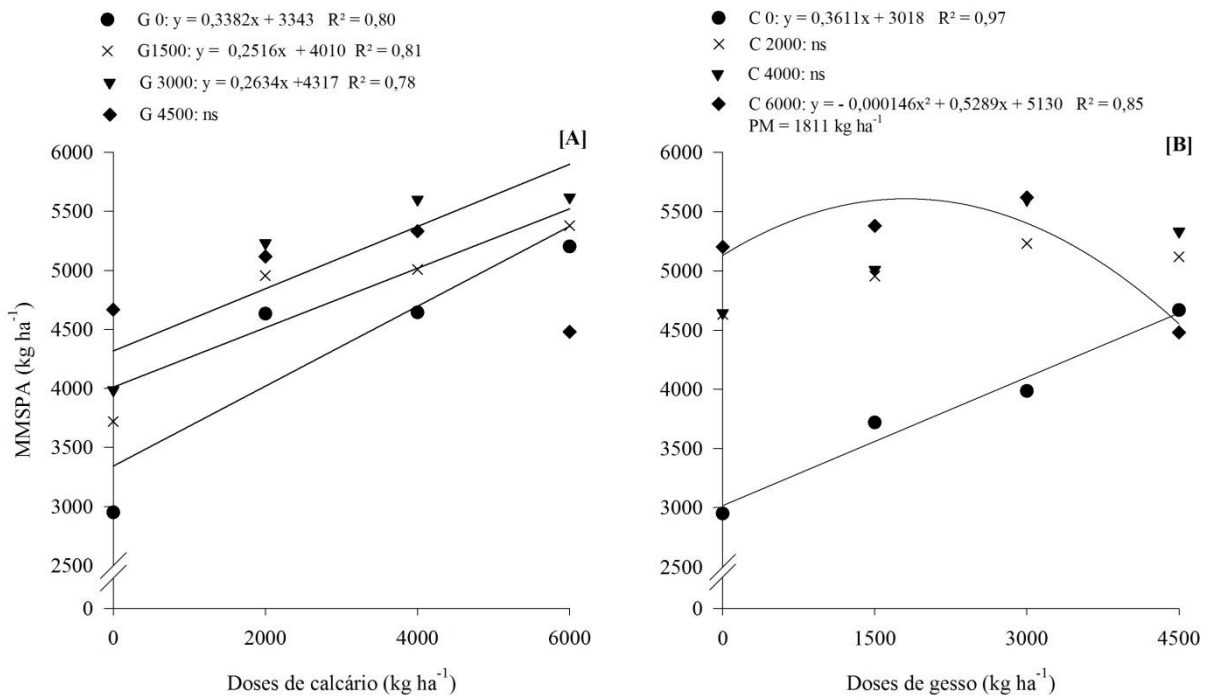
Nota: Médias seguidas de letra iguais, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

** significativo $p < 0,01$; * significativo $0,01 < p < 0,05$; ns: não significativo

Fonte: Dados do próprio autor.

Ainda para massa de matéria seca de parte aérea da soja, observou-se interação significativa entre as doses de gesso e calcário (Figura 24). No desdobramento de calcário dentro de cada dose de gesso (Figura 24A), com exceção da maior dose de gesso utilizada, para as demais, incluindo ausência de aplicação do mesmo, as médias ajustaram-se a equações lineares crescentes, ou seja, elevou-se o aporte de fitomassa da cultura da soja mediante aumento nas doses de calcário aplicadas, produzindo 5372, 5520 e 5897 kg ha⁻¹, respectivamente. Comportamento semelhante foi observado para os teores foliares de cálcio, como visto anteriormente.

Figura 24 - Desdobramento da interação significativa entre doses de calcário e gesso (A e B) para massa de matéria seca de parte aérea (MMSPA). Selvíria - MS, Brasil, 2016/17.



Fonte: Dados do próprio autor.

Em contrapartida, quando comparou-se as doses de gesso dentro de cada dose de calcário (Figura 24B), na ausência de aplicação do corretivo, as médias ajustaram-se a uma equação linear crescente em função do aumento das doses de gesso, atingindo uma produtividade de massa seca de 4643 kg ha⁻¹. Para a maior dose de calcário (6000 kg ha⁻¹), houve ajuste a uma equação quadrática, com DMET de 1811 kg ha⁻¹ de gesso e aporte máximo de 5609 kg ha⁻¹. O aumento na dose de gesso proporcionou decréscimo nos valores encontrados.

Como visto anteriormente, os teores foliares de Ca apresentaram semelhança com os dados obtidos para o aporte de matéria seca da parte aérea das plantas de soja, indicando certa afinidade por estas variáveis. Este fato pode ser explicado pelo Ca fornecido pelo calcário e gesso ser altamente requerido pela cultura da soja, participando do processo de alongação e divisão celular, garantindo maior desenvolvimento para as plantas e no processo de aprofundamento das raízes (PLATTNER; VERKHRATSKY, 2015), principalmente pelos benefícios fornecidos pelo gesso (CAIRES et al., 2011).

O número de vagens por planta foi superior quando cultivado sobre palhada do milho cultivado em consórcio com *Urochloa* (Tabela 11). Comportamento semelhante foi observado para o acúmulo de massa de matéria seca de parte aérea, que também foi superior nesta mesma condição.

Tabela 11 - Valores de F e médias encontradas para número de vagens por planta (NVP), massa de cem grãos (M100G) e produtividade (PROD) de grãos de soja em função dos tratamentos. Selvíria - MS, Brasil, 2016/17.

TRATAMENTOS	NVP	M100G (g)	PROD (kg ha ⁻¹)
SISTEMA (S)			
Solteiro	73,19 b	14,21	3959 b
Consoiciado	79,79 a	14,33	4347 a
CALCÁRIO kg ha⁻¹ (C)			
0	63,55	14,10	3405
2000	79,36	14,37	4334
4000	81,33	14,35	4442
6000	81,75	14,25	4431
GESSO kg ha⁻¹ (G)			
0	69,04	14,37	3780
1500	76,92	14,14	4137
3000	81,59	14,29	4435
4500	78,43	14,27	4260
Teste F			
S	1,14 ^{ns}	4,18 ^{ns}	53,85 ^{**}
C	24,65 ^{**}	2,15 ^{ns}	21,90 ^{**}
G	5,85 ^{**}	0,77 ^{ns}	5,00 ^{**}
S x C	0,78 ^{ns}	1,14 ^{ns}	0,38 ^{ns}
S x G	0,12 ^{ns}	0,38 ^{ns}	0,23 ^{ns}
C x G	2,39 [*]	0,53 ^{ns}	2,41 ^{**}
S x C x G	0,32 ^{ns}	0,96 ^{ns}	0,54 ^{ns}
Média geral	76,49	14,27	4153
DMS sistema	4,12	0,24	168
RL calcário	52,18 ^{**}	1,27 ^{ns}	44,30 ^{**}
RQ calcário	19,31 ^{**}	2,89 ^{ns}	19,25 ^{**}
RL gesso	11,07 ^{**}	0,10 ^{ns}	9,84 ^{**}
RQ gesso	6,26 ^{**}	0,89 ^{ns}	4,60 ^{**}
CV (%) subsubparcela	16,32	4,39	16,88

Nota: Médias seguidas de letra iguais, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

** significativo $p < 0,01$; * significativo $0,01 < p < 0,05$; ns: não significativo

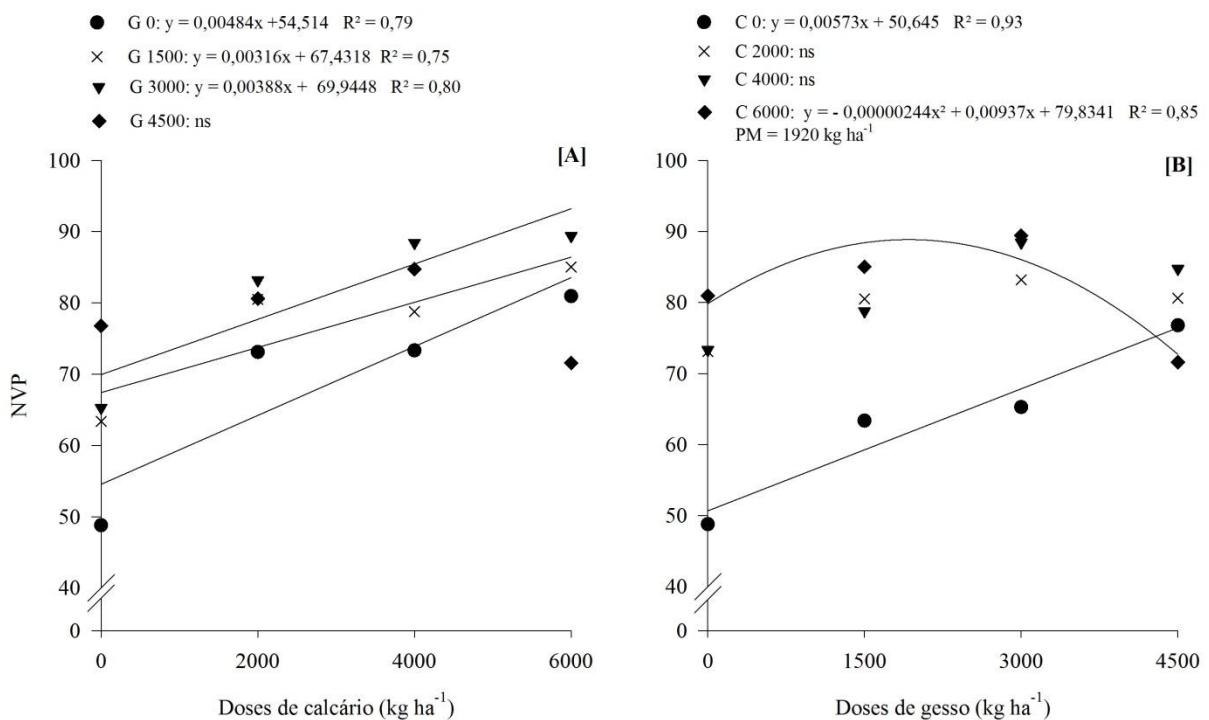
Fonte: Dados do próprio autor.

A maior disponibilidade de N pela redução da nitrificação do solo oferecida pelos compostos da *Urochloa* e pela ciclagem deste e outros nutrientes da fitomassa seca podem ter favorecido benefícios ao desenvolvimento da cultura (PACHECO e al., 2017). Os restos culturais deixados pelas culturas antecessoras, associados à rotação das culturas têm efeitos positivos na fertilidade do solo, o que favorece a atividade microbiana e incorporação de matéria orgânica no solo, favorecendo o sistema de cultivo (CARNEIRO et al., 2008).

Ainda, o número de vagens por planta também foi influenciado pela interação entre doses de calcário e gesso (Figura 25). A mesma tendência foi encontrada para massa de matéria seca da parte aérea da soja, em relação à interação entre estes dois insumos. Desdobrando calcário dentro de cada dose de gesso, com exceção da maior dose de gesso, as

demais ajustaram-se a equações lineares crescentes mediante aumento nas doses de calcário, apresentando valores máximos para esta característica de 83,55, 86,39 e 93,23 vagens por planta. Para o desdobramento de gesso dentro de cada dose de calcário, na ausência do corretivo de acidez, as médias ajustaram-se a uma equação linear crescente, obtendo 76,43 vagens por planta. Quanto a maior dose do corretivo, houve ajuste a uma equação quadrática, com DMET de 1920 kg ha⁻¹ e 97,0 vagens por planta.

Figura 25 - Desdobramento da interação significativa entre doses de calcário e gesso (A e B) para número de vagens por planta (NVP). Selvíria - MS, Brasil, 2016/17.



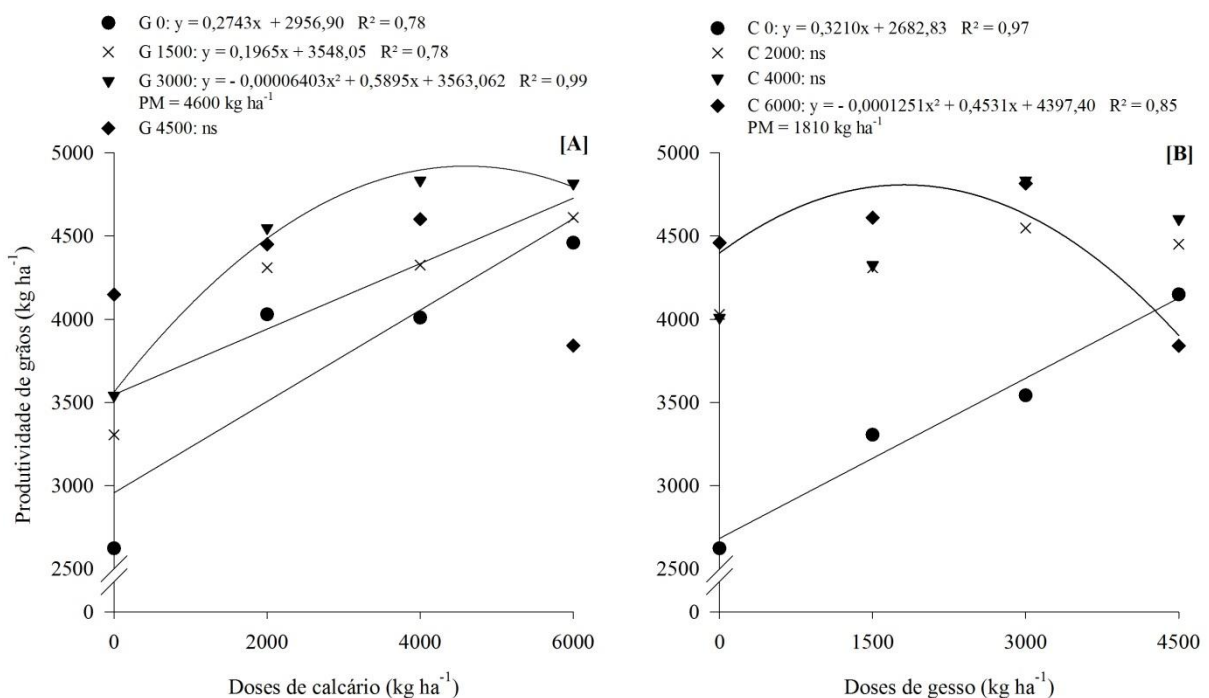
Fonte: Dados do próprio autor.

O aumento no número de vagens por planta está relacionado com a maior disponibilidade de nutrientes para a planta nestas dadas condições. O fornecimento direto de nutrientes como Ca, Mg e S pelos insumos utilizados, juntamente com a melhoria do ambiente de crescimento radicular, o qual reduz elementos tóxicos e aumenta a disponibilidade de outros benéficos, proporciona maior desenvolvimento reprodutivo para a cultura, refletindo em posterior produtividade (CAIRES et al., 2004; SORATTO, 2005, SORATTO e CRUSCIOL, 2008; CAIRES et al., 2011). Para a maior dose de calcário, após a dose de 1920 kg ha⁻¹ de gesso, houve decréscimo nos valores encontrados, fato este que pode ser explicado pela ausência de S-SO₄²⁻ nas camadas superficiais do solo em detrimento do baixo poder de retenção de ânions nas primeiras camadas do solo (SORATTO et al., 2010). Também, elevadas doses de gesso promovem lixiviação de bases como o Ca e o Mg por

formação de pares iônicos, arrastando-os para camadas mais profundas (CAIRES et al., 2011).

A massa de cem grãos (Tabela 11), não foi influenciada de maneira significativa pelos tratamentos utilizados. Devido ao cultivo ter sido realizado sob irrigação suplementar e, também, por esta ser uma característica de âmbito genético, alterações significativas no ganho de massa são de menor plasticidade (ARGENTA et al., 2001). Em relação à produtividade de grãos de soja (Tabela 11), é possível observar que foi influenciado de maneira significativa pelo cultivo sobre palha do milho consorciado. Como discutido anteriormente, a *Urochloa* garante uma produção de massa de maior quantidade e qualidade, além de benefícios nutricionais, bióticos e estruturais ao solo, favorecendo a cultura subsequente (CARNEIRO et al., 2008; PACHECO et al., 2017). Em detrimento ao aumento no número de massa de matéria seca e número de vagens por planta, houve reflexo direto na produtividade de grãos. Cabe ressaltar que estes efeitos para que sejam mantidos, deve ser realizado sempre no sistema agrícola, melhorando aos poucos as condições do solo e, também, deve ser associado a outras práticas como calagem e gessagem também. Quanto aos efeitos do calcário e gesso na produtividade, verificou-se interação significativa (Figura 26).

Figura 26 - Desdobramento da interação significativa entre doses de calcário e gesso (A e B) para produtividade de grãos de soja. Selvíria - MS, Brasil, 2016/17.



Fonte: Dados do próprio autor.

Desdobrando-se aplicação de calcário dentro de cada dose de gesso, a ausência de aplicação e a dose de 1500 kg ha⁻¹ de gesso promoveram aumento de produtividade na cultura da soja à medida que se aumentou a dose de calcário utilizada, apresentando produtividades máximas de 4594 e 4727 kg ha⁻¹, respectivamente. Para a dose de 3000 kg ha⁻¹ de gesso, houve ajuste a uma equação quadrática, indicando DMET de 4600 kg ha⁻¹ de calcário, correspondendo a uma produtividade de 4920 kg ha⁻¹.

Mediante o desdobramento de gesso dentro de cada dose de calcário verifica-se que na ausência de corretivo, a produtividade aumentou com o acréscimo nas doses de gesso, chegando a produzir 4120 kg ha⁻¹. No entanto, quando utilizou-se a maior dose de calcário, as médias ajustaram-se a uma equação quadrática, com DMET de 1810 kg ha⁻¹ de gesso, sendo que esta associação proporcionou produtividade de 4807 kg ha⁻¹.

A aplicação de calcário e gesso na cultura da soja possibilitou incremento de produtividade, possivelmente em razão do aumento dos teores de Ca e Mg em todo o perfil de solo, juntamente com o aumento do pH nas primeiras camadas do solo (CAIRES et al., 2011). Além disso, devido ao histórico da área, mesmo nas camadas mais profundas, ainda pode ter efeito residual das aplicações anteriores. A redução dos teores de Al³⁺ também pode ter contribuído para um melhor desenvolvimento radicular e conseqüentemente, maior nutrição das plantas, refletindo em produtividade (ZANDONÁ et al., 2015).

4.4 CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DO SOLO

Após 6 meses da aplicação dos insumos (calcário e/ou gesso), os valores de pH foram alterados de maneira significativa mediante uso do calcário em todas as camadas avaliadas (Tabela 12).

Tabela 12 - Valores de F e médias encontradas para pH, alumínio trocável (Al) e acidez potencial (H + Al) do solo em diferentes profundidades em função dos tratamentos. Selvíria - MS, Brasil, 2017.

TRATAMENTOS	pH (CaCl ₂)			Al ----- (mm _c dm ⁻³) -----			H + Al		
	0-10	10-20	20-40	0-10	10-20	20-40	0-10	10-20	20-40
SISTEMA (C)									
Solteiro	5,72	5,26	5,00	0,40	1,31	1,28	31,81	43,34	43,71
Consoiciado	5,42	5,15	5,00	0,40	1,34	2,25	41,06	49,59	49,84
CALCÁRIO kg ha⁻¹ (C)									
0	4,90	4,59	4,45	1,03	2,68	3,12	57,75	62,75	55,62
2000	5,41	5,06	4,77	0,24	1,31	2,31	38,43	51,31	51,00
4000	5,91	5,42	5,09	0,22	0,68	0,81	26,,06	37,31	40,62
6000	6,06	5,75	5,67	0,11	0,62	0,81	23,50	34,50	39,87
GESSO kg ha⁻¹ (G)									
0	5,61	5,41	5,04	0,91	1,00	1,50	37,31	40,75	43,68
1500	5,51	4,98	4,93	0,25	1,50	1,68	34,50	46,06	47,12
3000	5,66	5,18	5,03	0,23	1,50	2,18	36,75	51,00	48,87
4500	5,51	5,25	4,98	0,21	1,31	1,68	37,18	48,06	47,12
Teste F									
S	16,00 ^{ns}	11,56 ^{ns}	0,00 ^{ns}	0,05 ^{ns}	1,00 ^{ns}	1,14 ^{ns}	2,53 ^{ns}	1,38 ^{ns}	12,25 ^{ns}
C	27,10 ^{**}	12,93 ^{**}	62,33 ^{**}	257,42 ^{**}	22,20 ^{**}	9,00 [*]	52,68 ^{**}	25,90 ^{**}	10,98 ^{**}
G	0,42 ^{ns}	2,68 ^{ns}	0,36 ^{ns}	188,39 ^{**}	1,06 ^{ns}	1,04 ^{ns}	0,23 ^{ns}	2,64 ^{ns}	0,55 ^{ns}
S x C	0,82 ^{ns}	1,36 ^{ns}	0,54 ^{ns}	0,32 ^{ns}	0,46 ^{ns}	2,47 ^{ns}	2,64 ^{ns}	6,56 [*]	1,47 ^{ns}
S x G	0,67 ^{ns}	1,82 ^{ns}	0,69 ^{ns}	0,27 ^{ns}	1,51 ^{ns}	1,91 ^{ns}	0,42 ^{ns}	0,27 ^{ns}	0,95 ^{ns}
C x G	1,11 ^{ns}	2,23 ^{ns}	1,30 ^{ns}	10,98 ^{**}	1,67 ^{ns}	3,00 [*]	0,73 ^{ns}	1,68 ^{ns}	1,95 ^{ns}
S x C x G	1,17 ^{ns}	2,02 ^{ns}	0,58 ^{ns}	0,74 ^{ns}	2,50 ^{ns}	1,00 ^{ns}	0,54 ^{ns}	2,07 ^{ns}	0,90 ^{ns}
Média geral	5,57	5,20	4,98	0,40	1,32	1,76	36,43	46,46	46,78
DMS sistema	0,95	0,39	1,78	0,21	0,39	11,51	73,85	67,50	22,23
RL calcário	77,53 ^{**}	38,54 ^{**}	182,42 ^{**}	555,57 ^{**}	56,13 ^{**}	24,25 ^{**}	142,84 ^{**}	73,46 ^{**}	30,12 ^{**}
RQ calcário	3,20 ^{ns}	0,25 ^{ns}	3,76 ^{ns}	164,63 ^{**}	10,42 [*]	1,12 ^{ns}	15,12 ^{**}	2,80 ^{ns}	0,68 ^{ns}
RL gesso	0,08 ^{ns}	0,41 ^{ns}	0,03 ^{ns}	365,64 ^{**}	0,84 ^{ns}	0,67 ^{ns}	0,02 ^{ns}	5,14 [*]	0,95 ^{ns}
RQ gesso	0,07 ^{ns}	5,27 [*]	0,16 ^{ns}	167,82 ^{**}	2,25 ^{ns}	1,41 ^{ns}	0,35 ^{ns}	2,42 ^{ns}	0,67 ^{ns}
CV(%) subsubparcela	8,35	8,36	6,81	24,35	#28,94	25,52	20,25	22,82	25,46

Nota: Médias seguidas de letra iguais, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

** significativo $p < 0,01$; * significativo $0,01 < p < 0,05$; ns: não significativo

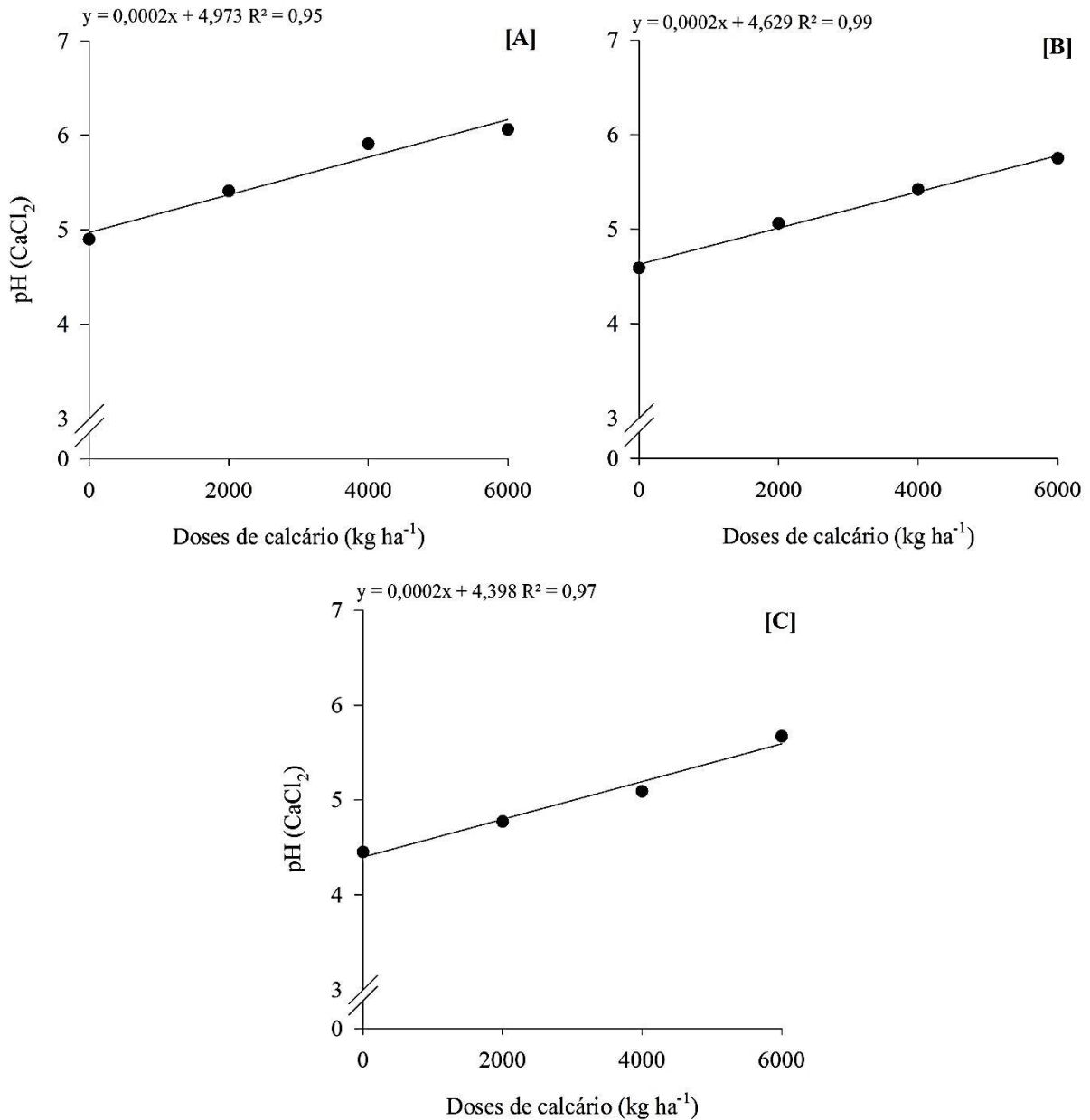
#Dados corrigidos seguindo a equação $(x+0,5)^{0,5}$

Fonte: Dados do próprio autor.

As médias ajustaram-se a equações lineares crescentes, indicando valores de pH na maior dose do corretivo de 6,17, 5,83 e 5,6 nas camadas de 0-10, 10-20 e 20-40 cm, respectivamente (Figura 27). Cabe ressaltar que o efeito residual das aplicações anteriores ainda é existente na área, uma vez que se trata de um experimento de longa duração. A faixa ideal de disponibilidade de nutrientes em função do pH mensurado em CaCl₂ é considerado médio de 5,1 - 5,5 e baixo de 5,6 - 6,0, conforme Raij et al. (1997), portanto, considera-se de

baixa acidez o pH encontrado para todas as camadas quando associadas a maior dose do corretivo. O tempo decorrido da aplicação superficial de calcário até que haja influência nas camadas mais profundas do solo é variável de acordo com a textura do solo, sistema de produção, temperatura e volume de água precipitado (chuva e/ou por irrigação) (GONÇALVES et al., 2011). Vários trabalhos são encontrados na literatura, apresentando dados distintos, variando de acordo com a região de realização do experimento, sendo a maioria dos trabalhos realizados na região sul do país, onde as condições climáticas são amenas em relação o cerrado. Os efeitos da calagem na camada de 20-40 cm encontrados variam de 5 meses (LIMA, 2004), 10 meses (BARIZON, 2001), 12 meses (SORATTO; CRUSCIOL, 2008), 18 meses (RHEINHEIMER et al., 2000) e 35 meses (CAIRES et al., 2003). Como o presente trabalho vem sendo desenvolvido desde 2011, e realizada a terceira aplicação de calcário no ano de 2016, os efeitos do corretivo nas camadas mais profundas e, principalmente nas maiores doses são mais pronunciados. Com o passar dos anos, o sistema plantio direto tende a se estabilizar e formar grande quantidade de canais no solo, decorrentes da fauna do solo e da decomposição de raízes mortas, aumentando o deslocamento mecânico de partículas de calcário no perfil do solo (CAIRES et al., 2003; MARCATTO; SILVEIRA, 2016; MENDES et al., 2015)

Figura 27 - Valores de pH (CaCl_2) no solo nas camadas de 0-10 (A), 10-20 (B) e 20-40 (C) cm de profundidade em função da reaplicação de doses de calcário. Selvíria - MS, Brasil, 2017.



Fonte: Dados do próprio autor.

A neutralização da acidez de camadas subsuperficiais promovidas pelo calcário é dificultada pelo aumento da retenção de cátions na CTC, uma vez que ocorre geração de cargas elétricas variáveis negativas devido a elevação do pH do solo (QUAGGIO, 2000). Ainda, os ânions resultantes da reação do calcário com a água do solo (bicarbonatos e hidroxilas), com função de correção da acidez, também podem ser utilizadas nas reações com outros cátions ácidos (Al^{3+} , Mn^{2+} e Fe^{2+}) na frente de ação superficial do calcário. Neste

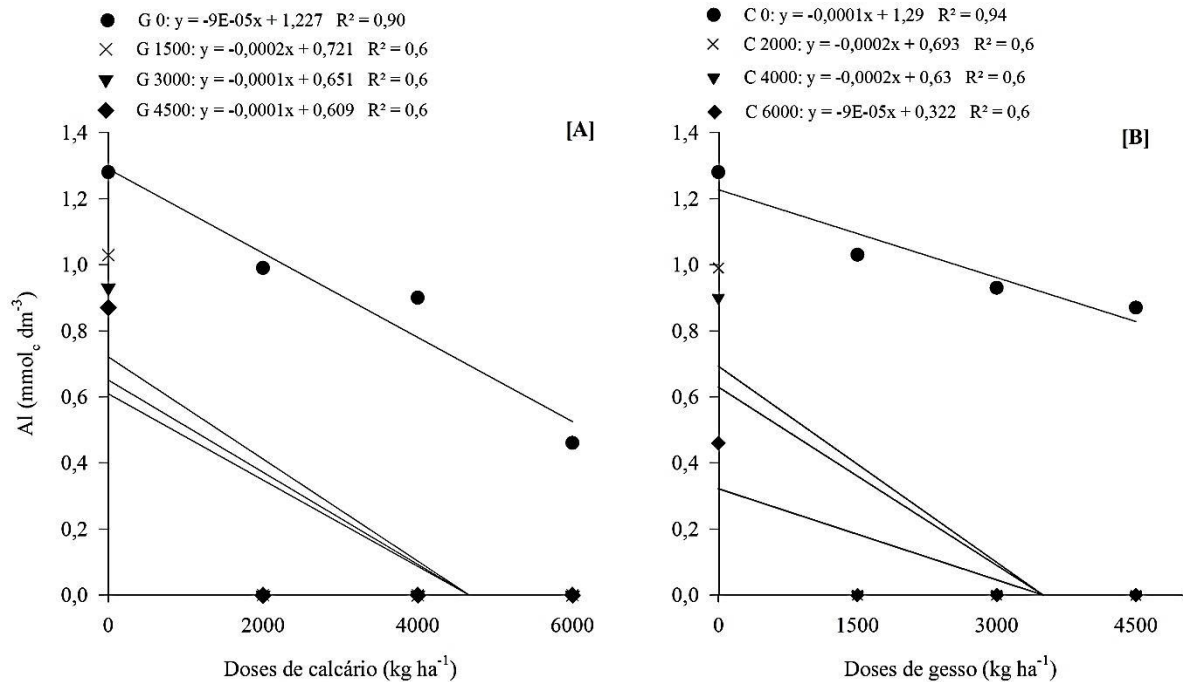
sentido, a translocação de partículas para as camadas inferiores fica dificultada, o que remete que a correção do solo em áreas de plantio direto deve ser realizada mediante monitoramento, a fim de se reduzir estes entraves. Rheinheimer et al. (2000), afirmam que ação corretiva da calagem em profundidade ocorrem quando o pH (em H₂O) da frente de dissolução do calcário no perfil do solo fica próximo a 5,2 - 5,6, porém, os valores de pH em CaCl₂ é cerca de 0,6 unidades inferior que o mensurado em água (RAIJ, 1991), ou seja, pH de 4,6 - 5,0 em CaCl₂, o que remete que mesmo na dose mais baixa do corretivo, ainda pode haver migração dos ânions da dissolução do calcário para as camadas mais profundas (ALLEONI et al., 2005).

Neste sentido, ocorre formação e conseqüente migração de Ca(HCO₃)₂ e Mg(HCO₃)₂ para as camadas de maior profundidade no solo, justificando a redução de acidez pela aplicação superficial de calcário camadas mais profundas do solo, constituindo-se na hipótese que melhor justifica a redução da acidez no subsolo pela aplicação superficial de calcário no sistema de plantio direto (ALLEONI et al., 2005; CAIRES et al., 2003; RHEINHEIMER et al., 2000; SORATTO, 2005).

Associando-se os resultados obtidos com os teores nutricionais do milho e da soja, pode-se inferir que a redução dos teores de alguns micronutrientes no tecido vegetal pode ser decorrente do aumento do pH nas camadas superficiais do solo, no caso do milho e intermediárias a profundas no caso da soja. A elevação do pH reduz a disponibilidade de micronutrientes catiônicos divalentes no solo, o que reflete em menor absorção dos mesmos pelas plantas (ANDREOTTI et al., 2001; CAMARGO et al., 1982; SORATTO, 2005).

Quanto ao alumínio trocável, verifica-se que na camada de 0-10 cm de profundidade (Tabela 12) de maneira geral, são baixos. Ainda, verifica-se houve interação entre as doses de calcário e gesso para este elemento na camada mais superficial (Figura 28). Para o desdobramento de calcário dentro de cada dose de gesso (Figura 28A) e gesso dentro de cada dose de calcário (Figura 28B), nota-se que houve ajuste linear decrescente para todas as combinações de doses. Na ausência de gesso, os teores de Al trocável reduziu-se até 0,69 mmol_c dm⁻³ na maior dose de calcário, enquanto para a presença de gesso em qualquer dose utilizada, com exceção da ausência de aplicação de calcário, os teores de Al trocável foram reduzidos a zero. Na ausência de calcário (Figura 28B), mediante acréscimo nas doses de gesso, os teores de Al trocável reduziu-se até 0,84 mmol_c dm⁻³. Nas demais doses de calcário, com exceção da ausência de gesso, os teores de Al trocável também foi mitigado.

Figura 28 - Desdobramento da interação significativa entre doses de calcário e gesso (A e B) para os valores de Al^{+3} ($mmol_c dm^{-3}$) no solo na camada de 0-10 cm de profundidade. Selvíria - MS, Brasil, 2017.

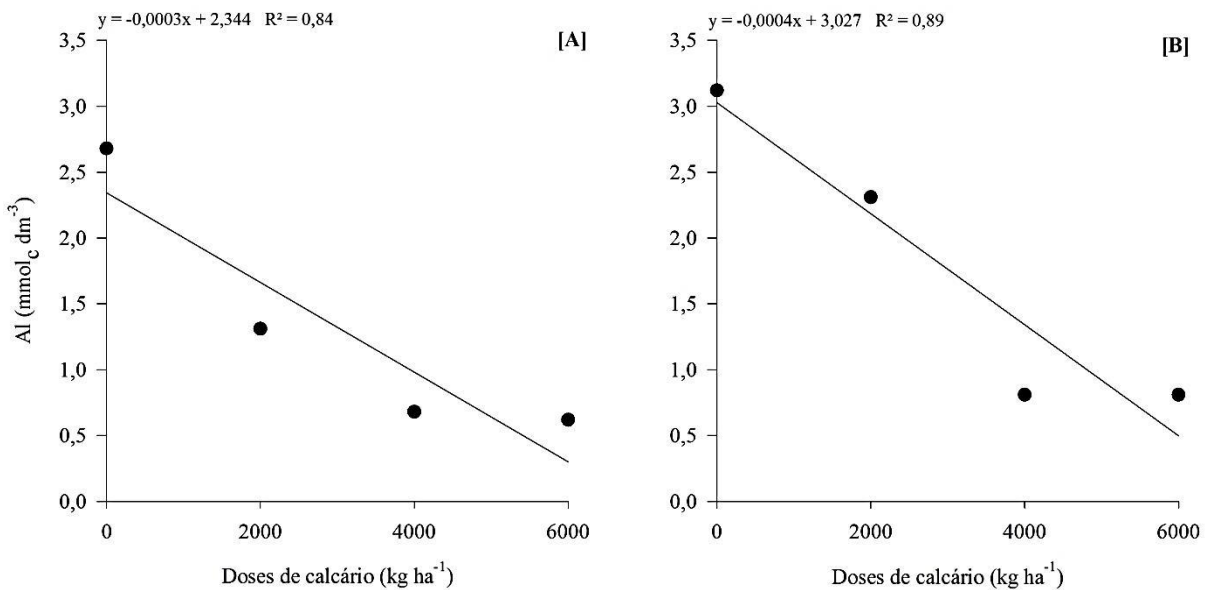


Fonte: Dados do próprio autor.

Na camada mais superficial do solo, além dos teores serem menores do que os encontrados em profundidade, o calcário e o gesso reaplicados em superfície abrem uma frente de correção, a qual é promovida redução nos teores de Al trocável, chegando a eliminar seus efeitos quase que por completamente, uma vez que o torna precipitado no solo (CAIRES et al., 2011; PAULETTI et al., 2014; ZANDONÁ et al., 2015). O calcário no processo de dissolução promove liberação de OH^- e HCO_3^- que por meio de seus ligantes associam-se ao Al^{+3} , precipitando-o (PAULETTI et al., 2014). Para o gesso uma das hipóteses seria a liberação de OH^- pelo SO_4^{2-} , mediante a troca de ligantes, formando estruturas hidroxiladas de Al, processo pelo qual é conhecido como “autocalagem” (REEVE; SUMNER, 1972; CHURKA BLUM et al., 2013; CRUSCIOL et al., 2016).

Para a camada de 10-20 cm de profundidade, os teores de alumínio apresentaram redução em seus teores mediante acréscimo nas doses de calcário, apenas (Figura 29A). Mediante elevação nas doses de calcário, os teores de Al trocável foram reduzidos até $0,54 mmol_c dm^{-3}$ quando associado a maior dose do corretivo.

Figura 29 - Valores de Al^{3+} ($\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$) no solo na camada de 10-20 (A) e 20-40 (B) cm de profundidade em função da reaplicação de doses de calcário. Selvíria - MS, Brasil, 2017.



Fonte: Dados do próprio autor.

O efeito do gesso em camadas intermediárias é menor em comparação as camadas mais profundas do solo, sendo, portanto, o calcário o maior atuante por apresentar maior tempo de reação no solo (CARVALHO, 2017). Também, deve-se ao fato da existência de migração dos ânions da dissolução do calcário pelas camadas intermediárias (ALLEONI et al., 2005; CRUSCIOL et al., 2016) provenientes da reaplicação realizada em 2014.

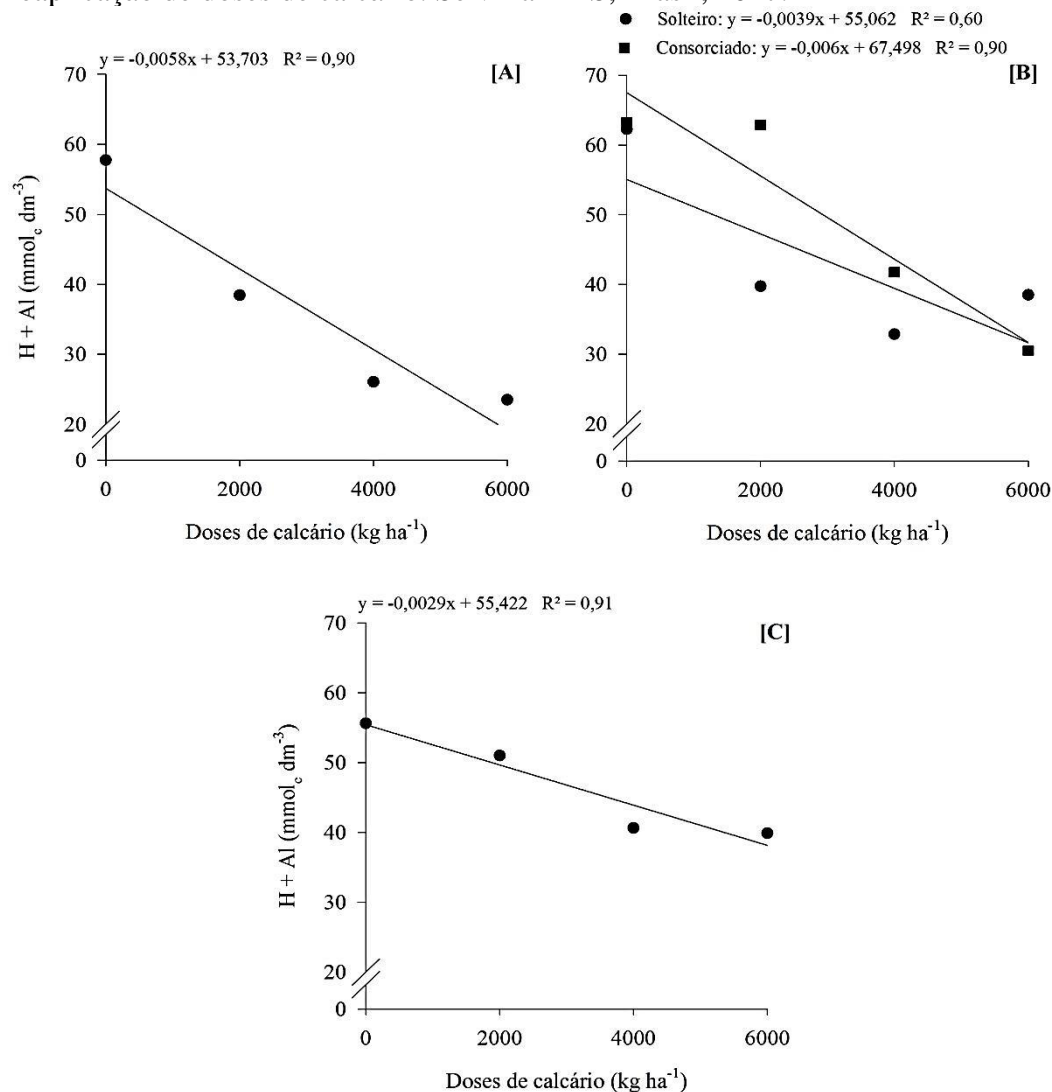
Em relação aos efeitos dos tratamentos sobre o Al trocável na camada mais profunda (20-40 cm), foi possível observar que houve efeito semelhante ao encontrado para a camada de 10-20 cm, onde apenas o calcário apresentou efeitos significativos (Figura 29B). Mediante acréscimo nas doses de calcário, houve redução nos teores obtidos, chegando até 0,63 mmol_c dm⁻³ na maior dose do corretivo.

Como visto anteriormente, o efeito do calcário tem uma maior durabilidade no solo em relação ao gesso (CARVALHO, 2017). O gesso reaplicado em 2014 provavelmente não apresenta efeito residual significativo, enquanto o reaplicado em 2016 pode não ter promovido efeitos na camada mais profunda do solo. O gesso pode proporcionar lixiviação de Al por meio de seu acompanhamento pelo perfil do solo, uma vez que é possível a formação de pares iônicos AlSO_4^+ (PAVAN et al., 1984), porém, com a elevação do pH nas camadas mais profundas, pode haver dissociação deste composto, liberando Al^{3+} . Neste sentido, pelo efeito do calcário ser mais duradouro, a dissociação dos precipitados de Al são menos frequentes. Segundo Miyazawa et al. (1992), o complexo Al-ligante será mais estável quanto

maior for o número de ligação do tipo anel com 5 ou 6 átomos, o que remete que os complexos formados pelo calcário apresentam maior estabilidade do que os formado pelo gesso. Os teores de Al no subsolo são maiores que os encontrados nas camadas mais superficiais, porém, inferiores aos teores preconizados como alto ($5 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$), segundo Rajj et al. (1997).

A acidez potencial, de maneira geral, apresentou redução em seus teores mediante aumento nas doses de calcário (Figura 30). Para a camada de 0-10 cm de profundidade (Figura 30A), a acidez potencial reduziu até atingir $18,9 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ na maior dose do corretivo. Em relação a camada de 10-20 cm, houve interação significativa entre doses de calcário e sistemas (Figura 30B).

Figura 30 - Valores de H+Al ($\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$) no solo na camada de 0-10cm (A), desdobramento da interação entre sistemas e doses de calcário na camada de 10-20 cm (B) e valores de H+Al ($\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$) para a camada de 20-40 cm (C) de profundidade em função da reaplicação de doses de calcário. Selvíria - MS, Brasil, 2017.



Fonte: Dados do próprio autor.

Mediante desdobramento de sistemas x doses de calcário, os sistemas ajustaram-se a equações lineares decrescentes, sendo que para o solo sob sistema de cultivo solteiro do milho e soja na sequência, os teores de acidez potencial chegaram a atingir $31,66 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ na maior dose do corretivo, enquanto solo sob sistema de cultivo consorciado com *Urochloa*, os teores foram de $31,50 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$. Não houve diferença significativa entre os sistemas para cada dose de calcário utilizada. A acidez potencial apresentou maior diferença (apesar de não significativa) nas menores doses do corretivo, onde o cultivo consorciado proporcionou maiores teores no solo. O material vegetal durante o processo de decomposição, libera ácidos orgânicos no solo, sendo capazes de acidificar o solo e aumentar a disponibilidade de Al e consequentemente a H+Al, porém, estes efeitos são temporários, pois estes podem ser transformados por microrganismos do solo e adsorvidos nos agregados do solo, principalmente nos minerais de argila (SORATTO; CRUSCIOL, 2008; CRUSCIOL et al., 2016).

Para a camada de 20-40 cm do solo (Figura 30C), os teores de H+Al no solo foram reduzidos à medida que se aumentou as doses de calcário, sendo que na maior dose do corretivo a acidez potencial chegou a $38,02 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$. Em camadas mais profundas, os valores de H+Al são superiores aos encontrados nas mais superficiais, seguindo a mesma tendência encontrada pelo Al trocável. Quanto ao gesso, cabe ressaltar que seus efeitos sobre a redução dos teores de H+Al são pequenos ou inexpressivos em relação aos fornecidos pelo calcário (CAIRES et al., 2003; CAIRES et al., 2011; SORATTO; CRUSCIOL, 2008).

Os teores de cálcio na camada de 0-10 cm foram incrementados pela presença da *Urochloa* na área (Tabela 13). O material vegetal da *Urochloa* presente na camada superficial do solo pode ter aumentado os teores de Ca devido à ciclagem de nutrientes provenientes de sua decomposição. Devido à alta produtividade de fitomassa por essa planta de cobertura, o retorno potencial de nutrientes ao solo pela ciclagem pode alterar as concentrações dos mesmos, principalmente nas camadas superiores (BETTIOL et al., 2015).

Tabela 13 - Valores de F e médias encontradas para teores de cálcio (Ca), magnésio (Mg) e potássio (K) do solo em diferentes profundidades em função dos tratamentos. Selvíria - MS, Brasil, 2017.

TRATAMENTOS	Ca			Mg			K		
	(mmol _c dm ⁻³)								
	0-10	10-20	20-40	0-10	10-20	20-40	0-10	10-20	20-40
SISTEMA (C)									
Solteiro	39,18 b	37,43	26,03	14,06 b	11,98 b	10,28	3,56	3,26	2,47
Consoiciado	40,46 a	35,46	26,75	15,59 a	13,46 a	10,71	4,14	3,22	2,59
CALCÁRIO kg ha⁻¹ (C)									
0	20,37	29,43	23,12	6,75	9,33	7,12	3,79	2,63	2,80
2000	41,06	32,12	21,81	13,81	10,86	8,37	3,75	3,16	2,27
4000	45,37	36,31	26,93	16,37	12,52	10,62	4,34	3,56	2,31
6000	52,50	47,93	33,68	22,37	18,19	15,87	3,53	3,60	2,73
GESSO kg ha⁻¹ (G)									
0	29,87	25,50	23,56	15,18	12,16	9,43	3,86	2,78	2,14
1500	35,50	32,43	25,00	15,31	14,88	12,37	3,47	3,36	2,57
3000	50,43	40,12	27,25	14,00	12,52	10,50	4,15	3,88	3,07
4500	43,50	47,75	29,75	14,81	11,34	9,43	3,92	2,93	2,33
Teste F									
S	1681,00*	0,94 ^{ns}	2,53 ^{ns}	2401,00*	2293,35*	1,36 ^{ns}	10,76 ^{ns}	0,04 ^{ns}	152,11 ^{ns}
C	13,18**	11,92**	11,42**	424,59**	49,80**	66,89**	3,99 ^{ns}	24,41**	1,39 ^{ns}
G	21,20**	49,77**	3,49*	0,92 ^{ns}	8,13**	14,37**	1,06 ^{ns}	18,89**	4,99**
S x C	0,00 ^{ns}	0,76 ^{ns}	0,35 ^{ns}	1,01 ^{ns}	0,17 ^{ns}	0,20 ^{ns}	6,87*	8,73*	0,59 ^{ns}
S x G	0,01 ^{ns}	5,17**	2,76 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,03 ^{ns}	10,68**	0,39 ^{ns}	3,39*	0,33 ^{ns}
C x G	4,24**	2,50*	1,78 ^{ns}	2,82*	10,93**	8,61**	1,64 ^{ns}	1,99 ^{ns}	0,32 ^{ns}
S x C x G	0,00 ^{ns}	1,66 ^{ns}	0,62 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,04 ^{ns}	0,96 ^{ns}	1,96 ^{ns}	1,93 ^{ns}	0,76 ^{ns}
Média geral	39,82	36,45	26,39	14,82	12,72	10,5	3,85	3,24	2,53
DMS sistema	0,39	25,80	5,95	0,39	0,39	4,76	2,26	2,38	0,11
RL calcário	35,08**	31,88**	27,26**	1238,97**	132,65**	181,87**	0,06 ^{ns}	65,51**	0,03 ^{ns}
RQ calcário	3,18 ^{ns}	3,57 ^{ns}	6,54*	2,86 ^{ns}	14,22**	17,91**	4,93 ^{ns}	7,41*	4,11 ^{ns}
RL gesso	40,44**	149,24**	10,34**	0,78 ^{ns}	4,13 ^{ns}	0,51 ^{ns}	0,48 ^{ns}	3,63 ^{ns}	1,80 ^{ns}
RQ gesso	10,24**	0,06 ^{ns}	0,13 ^{ns}	0,31 ^{ns}	13,37**	28,57**	0,10 ^{ns}	45,52**	10,54**
CV (%) subparcela	19,70	14,95	21,93	16,64	16,75	13,36	28,31	13,93	28,42

Médias seguidas de letra iguais, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

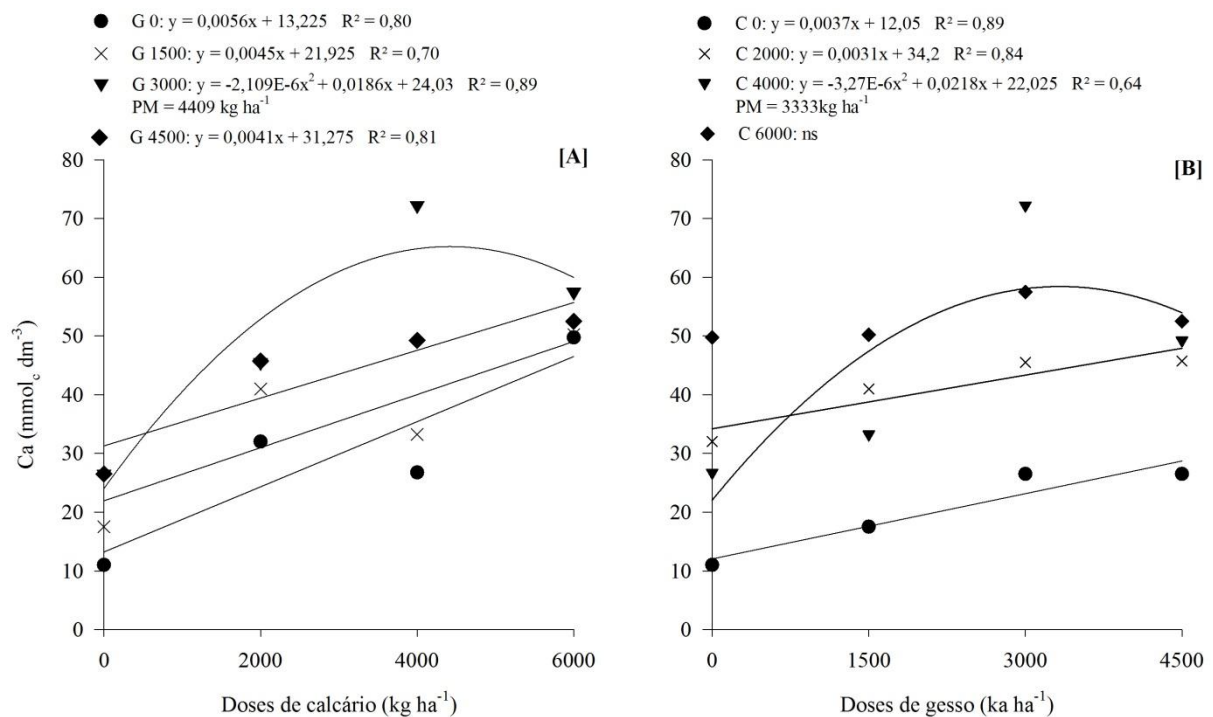
** significativo $p < 0,01$; * significativo $0,01 < p < 0,05$; ns: não significativo

Fonte: Dados do próprio autor.

Ainda para esta camada, também foi possível verificar interação significativa entre doses de calcário e gesso no incremento dos teores de Ca (Figura 31). Em relação ao desdobramento de calcário dentro de cada dose de gesso, os teores de Ca aumentaram linearmente para a ausência de aplicação, 1500 e 4500 kg ha⁻¹ de gesso, mediante elevação nas doses de calcário, apresentando valores de 46,82, 48,92 e 55,87 mmol_c dm⁻³, respectivamente (Figura 31A). Quanto a dose de 3000 kg ha⁻¹ de gesso, os valores ajustaram-se a uma equação quadrática, obtendo DMET de 4409 kg ha⁻¹ de calcário e teor de Ca no solo

de $65,0 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$. Para o desdobramento de gesso dentro de cada dose de calcário, com exceção da maior dose do corretivo, as demais apresentaram efeitos significativos (Figura 31B). As médias obtidas para o teor de Ca na ausência de aplicação de calcário e na dose de 2000 kg ha^{-1} ajustaram-se a equações lineares crescentes mediante aumento nas doses de gesso, obtendo $28,7$ e $48,15 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de Ca, respectivamente. Para a dose de 4000 kg ha^{-1} , as médias ajustaram-se a uma equação quadrática com DMET de 3333 kg ha^{-1} de gesso e teor máximo de Ca no solo de $53,9 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$.

Figura 31 - Desdobramento da interação significativa entre doses de calcário e gesso (A e B) para os valores de Ca ($\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$) no solo na camada de 0-10 cm de profundidade. Selvíria - MS, Brasil, 2017.



Fonte: Dados do próprio autor.

Diversos trabalhos citam elevação nos teores de Ca trocável do solo sob influência da aplicação superficial de calcário (CAIRES et al., 1999; CAIRES et al., 2000; CAIRES et al., 2004; CAIRES et al., 2011; CIOTTA et al., 2004; OLIVEIRA; PAVAN, 1996; RHEINHEIMER, et al., 2000; SORATTO; CRUSCIOL, 2008, SORATTO et al., 2010), ou de gesso (OLIVEIRA; PAVAN, 1996; CAIRES et al., 1999; CAIRES et al., 2004; SORATTO; CRUSCIOL, 2008, SORATTO et al., 2010; CAIRES et al., 2011). No entanto, a maior parte destes trabalhos não apresenta efeito da interação entre a calagem e a gessagem nos teores de Ca trocável no solo.

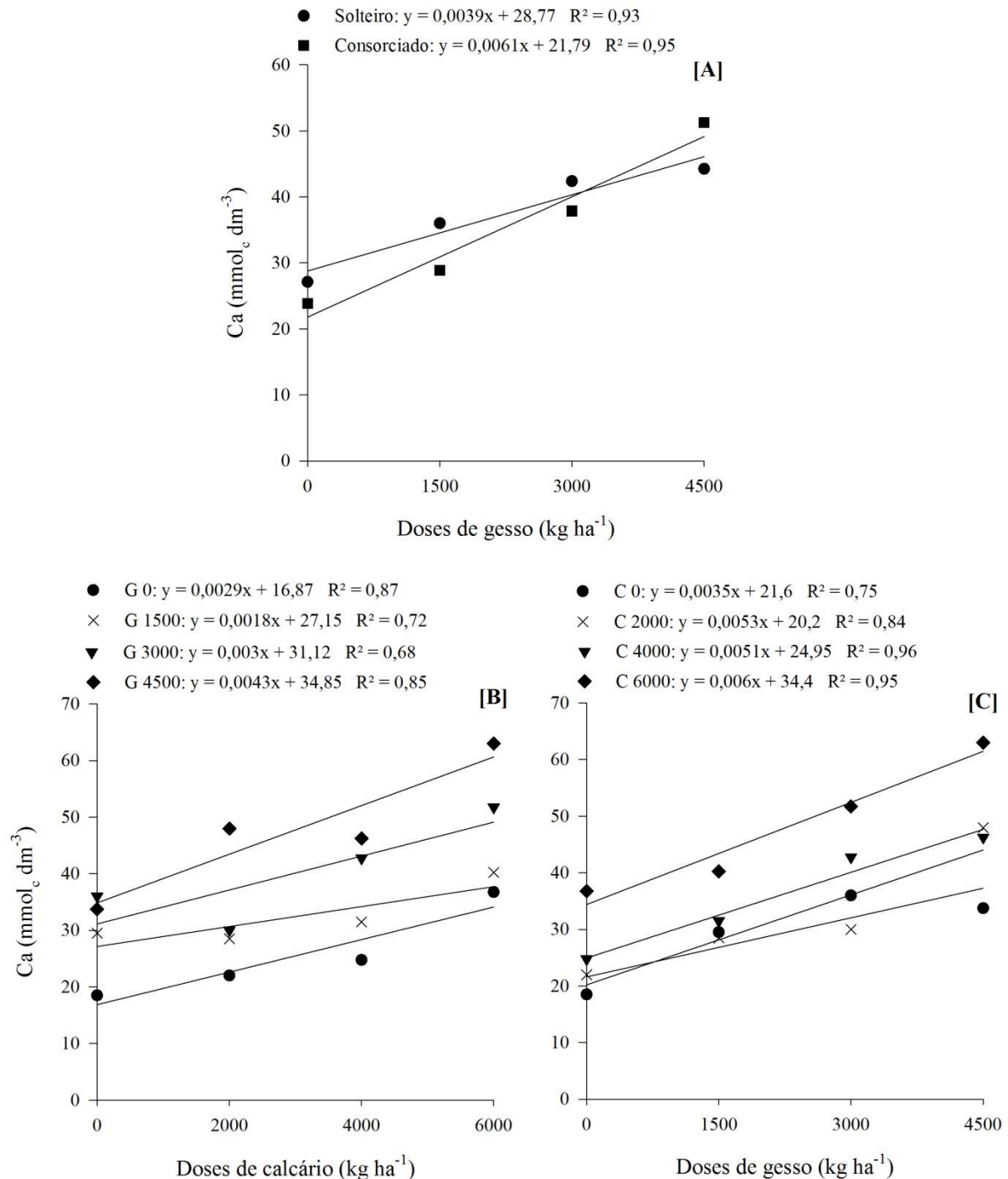
Devido ao fato dos dois insumos apresentarem Ca em sua composição, foi possível observar interação entre as doses dos mesmos, sendo que nas melhores combinações foram obtidos valores de Ca superiores a $50 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$, valores estes tidos como muito altos para a camada mais superficial do solo, segundo recomendações de Raij et al. (1997). Com os resultados obtidos é evidente que tanto o calcário, como o gesso, aplicados em superfície contribuíram para a elevação dos teores de Ca no perfil do solo, porém, a aplicação combinada dos dois produtos promoveu elevação nos teores de Ca trocável no perfil do solo de maneira mais efetiva.

Na camada de 10-20 cm de profundidade, houve interação entre sistemas e doses gesso para os teores de Ca do solo (Figura 32A). Para ambos os sistemas de cultivo, as médias ajustaram-se a equações lineares crescentes à medida que se aumentou as doses de gesso, apresentando teores de Ca no solo de 46,32 e 49,24 $\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ após o cultivo sem e com *Urochloa*, respectivamente. Não foram obtidas diferenças significativas no desdobramento de sistemas dentro de cada dose de gesso.

Devido aos complexantes orgânicos provenientes da decomposição da planta de cobertura associado ao Ca do solo, pode ter proporcionado maior carreamento deste elemento para camada intermediária do solo (SORATTO; CRUSCIOL, 2008), além de que as raízes da *Urochloa* pode ter aumentado o arraste de gesso pelo perfil do solo, aumentando as concentrações de Ca (

Em relação às doses de calcário e gesso, observou-se interação significativa entre estes insumos (Figura 32B e C). As médias referentes às doses de calcário dentro de cada dose de gesso ajustaram-se a equações lineares crescentes mediante aumento nas doses do corretivo, obtendo teores máximos de 34,27, 37,95, 49,12 e 60,65 $\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de Ca (Figura 32B). No desdobramento de gesso dentro de cada dose de calcário, houve resultados semelhantes aos anteriores, onde as médias ajustaram-se a equações lineares crescente mediante aumento nas doses de calcário, apresentando teores de 37,35, 44,05, 47,90 e 61,40 $\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de Ca, respectivamente, da menor para a maior dose de gesso (Figura 32C).

Figura 32 - Desdobramento da interação entre sistemas e doses de gesso na camada de 10-20 cm (A) e desdobramento da interação significativa entre doses de calcário e gesso (B e C) para os valores de Ca ($\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$) no solo na camada de 10-20 cm de profundidade. Selvíria - MS, Brasil, 2017.



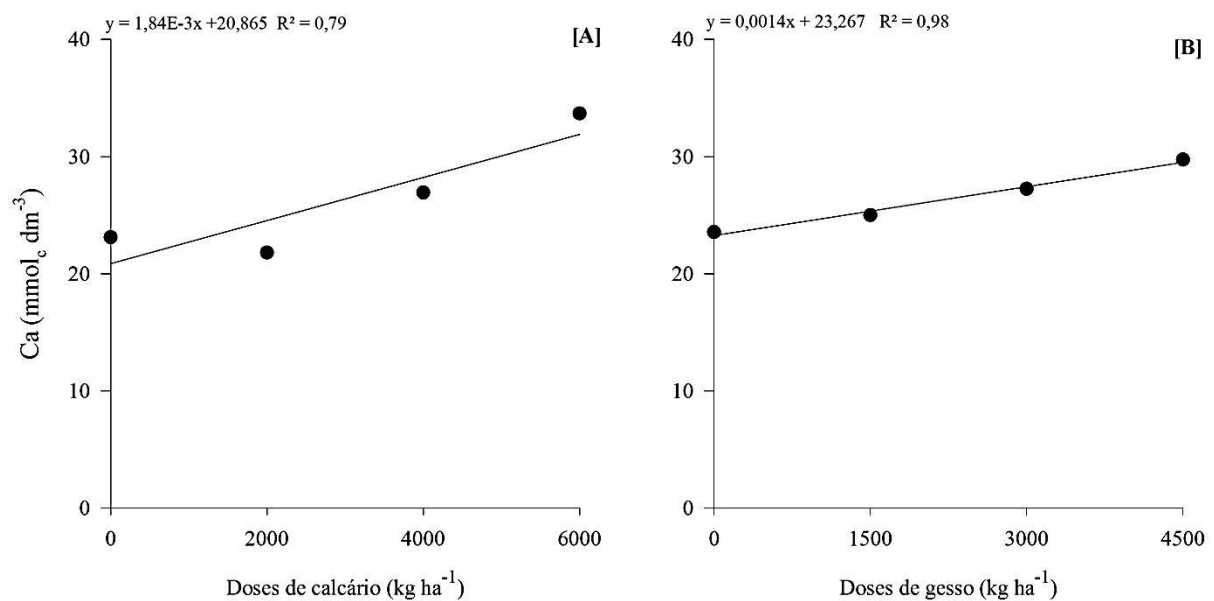
Fonte: Dados do próprio autor.

A combinação das maiores doses destes insumos proporcionaram teores de Ca semelhantes ao encontrados para a camada de 0-10 cm de profundidade, indicando alta eficiência da aplicação destes dois insumos. É possível verificar que considerando a camada

de 0-20 cm, considerada como camada arável, os teores de Ca encontrados, em média, são altos, garantindo a boa nutrição mineral com este nutriente. A reação da mistura mostrou-se satisfatória na melhoria das propriedades químicas das camadas de 0-10 e 10-20 cm de profundidade do solo, assim como confirmado por Crusciol et al. (2016). Com o passar do tempo, os teores deste e outros nutrientes tendem a reduzir, devido à extração pelas culturas (SORATTO et al., 2010), o que denota grande importância do monitoramento dos solos mediante análise e constância de aplicação de insumos fonte de nutrientes, como o Ca, por exemplo (PANDOLFO et al., 2008).

Quanto à camada mais profunda do solo (20-40 cm), houve efeito significativo para calcário (Figura 33A) e gesso (Figura 33B) de forma isolada. Para ambos os casos, os teores de Ca aumentaram mediante acréscimo nas doses dos respectivos insumos, apresentando teores de 31,90 e 29,57 $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$ para a maior dose de calcário e gesso, respectivamente.

Figura 33 - Valores de Ca ($\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$) no solo na camada de 20-40 cm de profundidade em função da reaplicação de doses de calcário (A) e gesso (B). Selvíria - MS, Brasil, 2017.



Fonte: Dados do próprio autor.

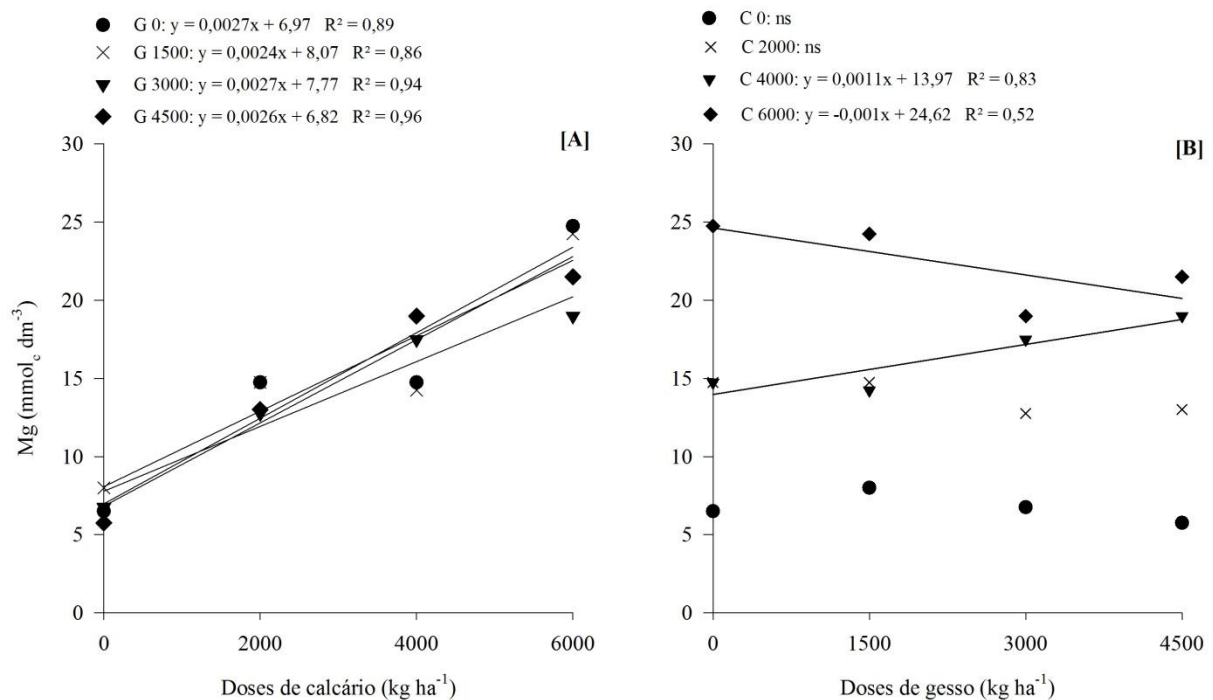
Mesmo na camada mais profunda (20-40 cm), os teores de cálcio apresentam teores relativamente altos, variando de 20 a 30 $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$, aproximadamente. Este fato deve-se principalmente ao efeito residual das aplicações anteriores e, também a constância de aplicação dos insumos. Os ligantes orgânicos provenientes da decomposição da matéria orgânica complexam o cálcio trocável, formando um composto estável ou com carga negativa (quelatização), o que facilita sua mobilidade no solo (MIYAZAWA et al., 2000).

Principalmente na camada subsuperficial, o cálcio dos complexos é deslocado pelo Al^{3+} , uma vez que estes formam complexos mais estáveis que Ca^{2+} , diminuindo a acidez trocável e, conseqüentemente, aumentando o cálcio trocável (SORATTO; CRUSCIOL, 2008; CAIRES et al., 2011). Independente do insumo utilizado, os níveis de Ca trocáveis aumentaram em todas as camadas do solo, incluindo a mais profunda, principalmente quando aplicados nas maiores doses.

O calcário incrementou dos teores de Ca trocável em profundidade do solo, principalmente por estar relacionado com a disponibilidade deste em sua composição, além de que sua movimentação é altamente influenciada pela infiltração de água no solo e pela ligação com ligantes orgânicos e/ou minerais, como o SO_4^{2-} presente no solo, por exemplo. Assim como o calcário, a capacidade do gesso em aumentar os níveis de Ca nas camadas mais baixas do solo pode resultar em maior proliferação de raízes em maiores profundidades, aumentando a eficiência de nutrientes e absorção de água pelas plantas (CAIRES et al., 2008. CRUSCIOL et al., 2016). As funções do Ca estão relacionadas à divisão celular e ao crescimento de meristemas apicais (PRADO; NATALE, 2004; YAMAMOTO et al., 2011; MARSCHNER, 2012), incluindo o radicular. O Ca apresenta baixa mobilidade natural do Ca no perfil do solo, sendo que o mesmo ocorre nos tecidos da planta, além de que sua absorção acontece quase que em totalidade na coifa da raiz, faz com que seu deslocamento em profundidade, seja de grande importância no aumento da tolerância das plantas a períodos de deficiência hídrica e aproveitamento de uma maior área no perfil do solo (CAIRES et al., 2008; PAULETTI et al., 2014).

Os teores de Mg trocável na camada de 0-10 cm foram influenciados pela interação significativa entre doses de calcário e gesso (Figura 34). No desdobramento de calcário dentro de cada dose de gesso, verifica-se que para todas as doses de gesso, as médias ajustaram-se a equações lineares crescentes mediante acréscimo nas doses de calcário, apresentando os teores de Mg de 23,17, 22,47, 23,97 e 22,42 $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$, da menor para a maior dose, respectivamente (Figura 34A). Contudo, para o desdobramento de gesso dentro de cada dose de calcário, verificou-se que ocorreu significância apenas para as duas maiores doses do condicionador de subsuperfície. Para a dose de 4000 kg ha^{-1} de calcário, os teores de Mg aumentaram à medida que se elevou as doses de gesso, apresentando 18,92 $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$, porém, para a dose de 6000 kg ha^{-1} de calcário, os teores de Mg trocável reduziram linearmente mediante aumento nas doses de gesso, reduzindo de 24,62 para 20,12 $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$, apesar deste valor ser superior ao encontrado para a combinação anterior (Figura 34B).

Figura 34 - Valores de Mg ($\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$) no solo na camada de 0-10 cm de profundidade em função da reaplicação de doses de calcário (A) e gesso (B). Selvíria - MS, Brasil, 2017.

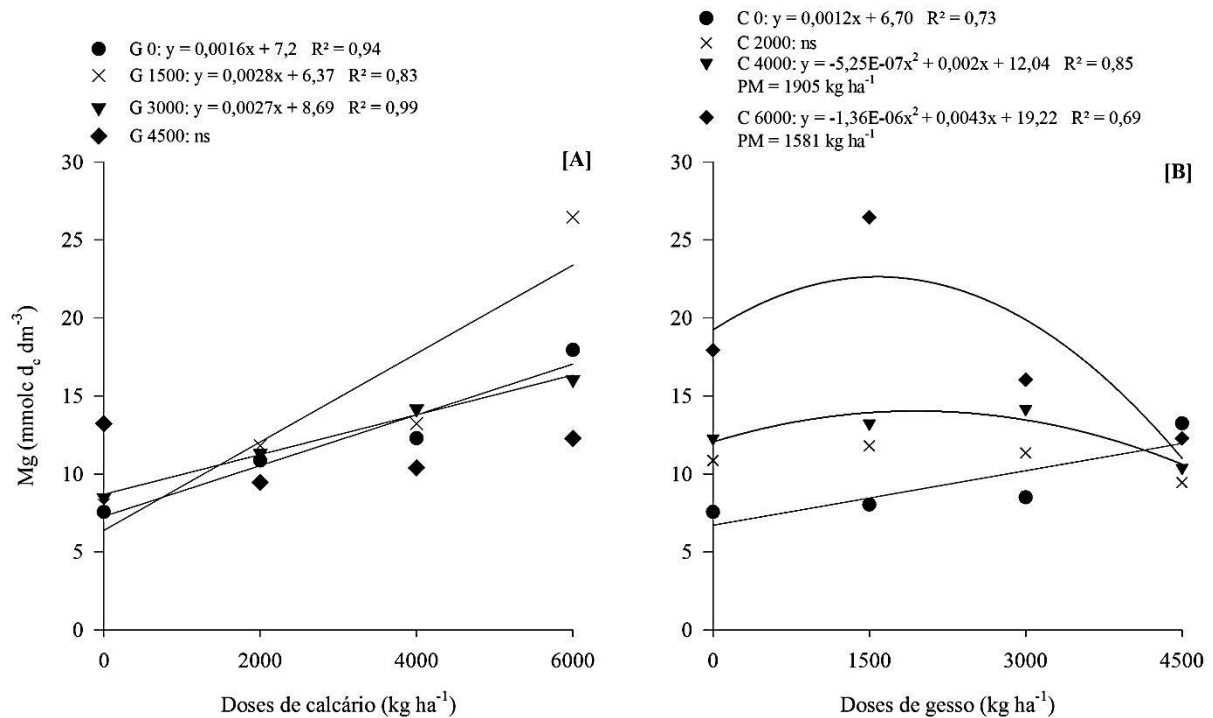


Fonte: Dados do próprio autor.

A aplicação combinada de calcário e gesso proporcionou efeitos benéficos nos teores de Mg trocável na camada de 0-10 cm, principalmente pelo fato do calcário dolomítico apresentar MgO em sua composição (CAIRES et al., 2004; SORATTO; CRUSCIOL, 2008; CAIRES et al., 2011).

Na camada de 10-20 cm de profundidade, a associação de calcário e gesso proporcionou efeitos benéficos nos teores de Mg trocável (Figura 35). Desdobrando-se calcário dentro de cada dose de gesso (Figura 35A), verifica-se que com exceção da maior dose de gesso, as medias correspondentes as demais doses ajustaram-se a equações lineares crescente mediante aumento nas doses de calcário, apresentando valores de Mg trocável de 16,8, 23,17, 24,89 $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$, respectivamente para ausência de aplicação, 1500 e 3000 kg ha^{-1} de gesso. No desdobramento de gesso dentro de cada dose de calcário (Figura 35B), na ausência da calagem, os teores de Mg trocável aumentaram mediante aumento nas doses de gesso. Para as duas maiores doses de calcário, obteve-se DMET de 1905 e 1581 kg ha^{-1} de gesso e teores máximos de Mg trocável de 13,94 e 22,93 $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$.

Figura 35 - Valores de Mg ($\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$) no solo na camada de 10-20 cm de profundidade em função da reaplicação de doses de calcário (A) e gesso (B). Selvíria - MS, Brasil, 2017.



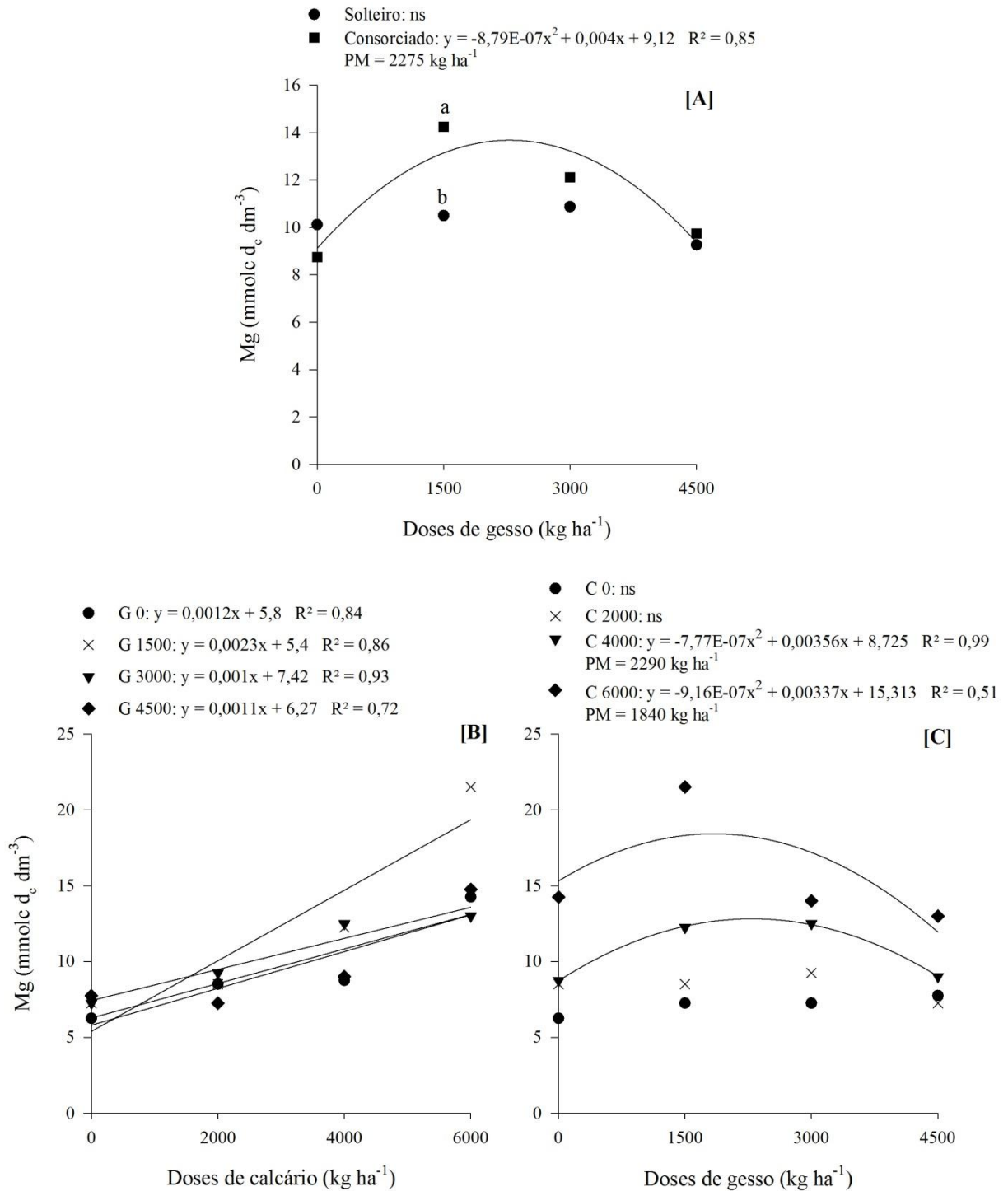
Fonte: Dados do próprio autor.

O movimento do Mg trocável no perfil do solo pode estar associado a formação de complexos orgânicos hidrossolúveis por meio de ácidos orgânicos liberados dos restos culturais presentes na superfície do solo (MIYAZAWA et al., 1992, MIYAZAWA et al., 2002). Estes mesmos autores afirmam que os restos culturais de gramíneas contribuem de forma expressiva no caminhamento dos produtos da dissolução do calcário, como o Mg, por exemplo. Quando associou-se as doses de calcário com as maiores doses de gesso, verificou-se uma queda acentuada nos valores de Mg trocável. A lixiviação de Mg no perfil do solo tem sido frequentemente observada nos estudos com aplicação superficial de gesso (CAIRES et al., 2004; CAIRES et al., 2011; CRUSCIOL et al., 2016; SORATTO; CRUSCIOL, 2008).

A camada de 20-40 cm de profundidade foi influenciada pela interação entre sistemas e doses de gesso (Figura 36A). Os teores de Mg trocável do solo ajustaram-se a uma equação quadrática quando cultivou-se milho consorciado com *Urochloa* na área, apresentando DMET de 2275 kg ha^{-1} de gesso e teor máximo de Mg trocável de $13,67 \text{ mmol}_c \text{dm}^{-3}$. Quanto o desdobramento de sistemas dentro de cada dose, verificou-se que houve diferença entre os sistemas na dose de 1500 kg ha^{-1} de gesso, onde sob cultivo consorciado, os teores de Mg no subsolo foram maiores. Complexos estáveis formados pelos ácidos orgânicos presentes no solo provenientes da decomposição da matéria orgânica favorecem o carreamento de

nutrientes pelo perfil do solo (MIYAZAWA et al., 2002). Concomitante a este fato, o gesso além de aumentar a disponibilidade de Ca e Mg, ainda pode diminuir os teores de Al^{3+} , como foi observado no presente trabalho.

Figura 36 - Desdobramento da interação entre sistemas e doses de gesso na camada de 20-40 cm (A) e desdobramento da interação significativa entre doses de calcário e gesso (B e C) para os valores de Mg ($mmol_c dm^{-3}$) no solo na camada de 20-40 cm de profundidade. Selvíria - MS, Brasil, 2017.



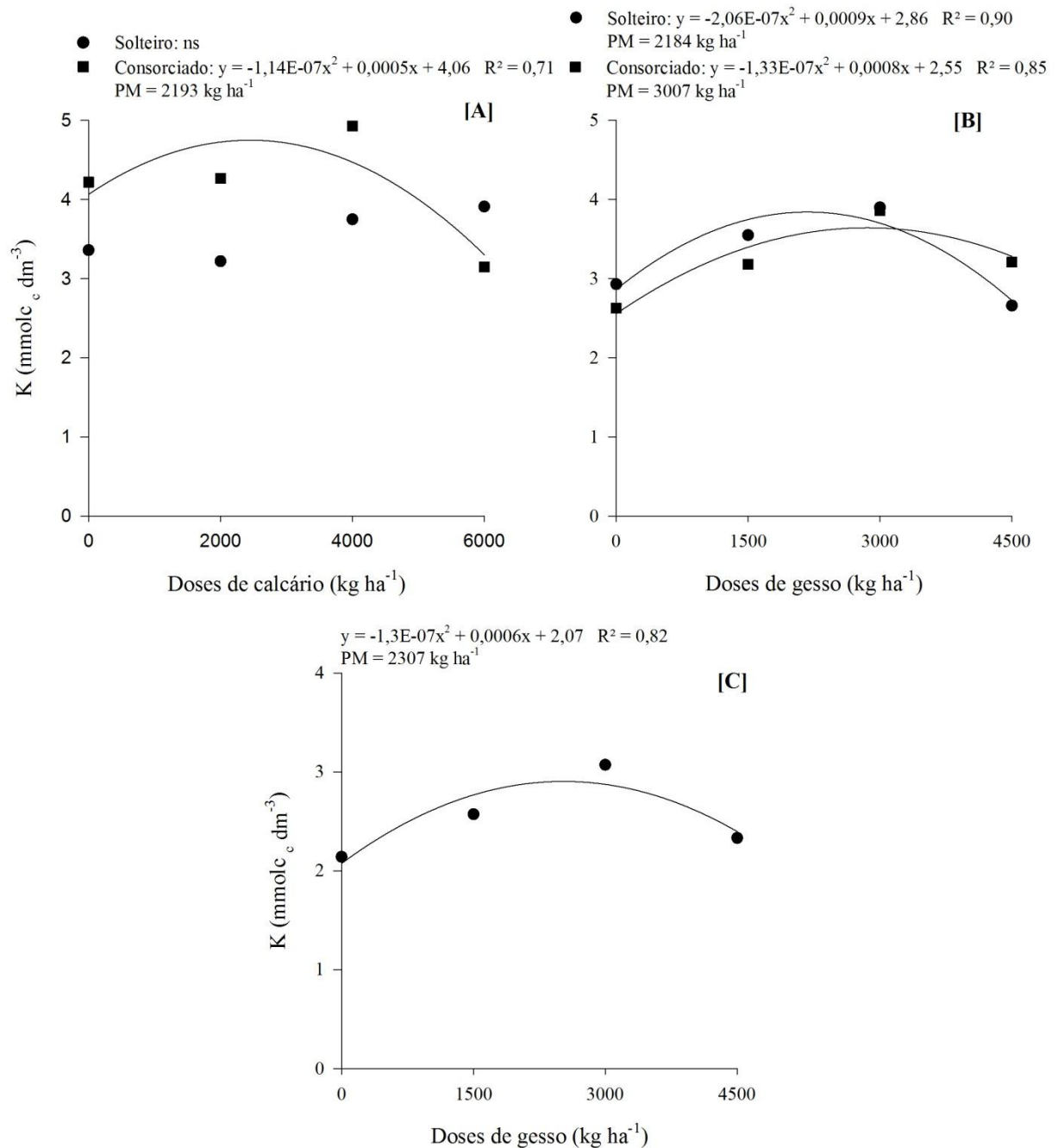
Fonte: Dados do próprio autor.

Também obteve-se efeito significativo da associação de doses de calcário e gesso, sendo que desdobrando-se calcário dentro de cada dose de gesso, para todas as doses utilizadas os teores de Mg aumentaram linearmente mediante aumento nas doses de calcário, apresentando valores de Mg trocável de 13,0, 19,2, 13,42 e 12,87 $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$ (Figura 36B). No desdobramento de gesso dentro de cada dose de calcário (Figura 36C), com exceção da ausência de calagem e da dose de 2000 kg ha^{-1} , as duas maiores doses de calcário ajustaram-se a equações quadráticas, apresentando DMET de 2290 e 1840 kg ha^{-1} de gesso, e teores máximos de Mg trocável de 12,8 e 18,41 $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$, respectivamente.

A aplicação associada destes insumos garantiu uma distribuição satisfatória de Mg trocável pelo perfil do solo, incluindo na camada mais profunda. Mesmo em ambiente tropical com alta precipitação, o gradiente de Mg no perfil do solo não foi severamente afetado pela lixiviação de bases pelo gesso, mostrando que esta prática permite fornecimento de Mg trocável mesmo em profundidade em níveis suficientes ($> 8 \text{ mmol}_c \text{dm}^{-3}$) (CAIRES et al., 2011; CRUSCIOL et al., 2016). Um dos motivos que podem estar associados a este fato é a maior disponibilidade de Ca adicionado pela calagem mais gessagem, o que promoveria sua rápida associação com o íon acompanhante (SO_4^{2-}), tornando-o passível de lixiviação em detrimento da movimentação do Mg, uma vez que a afinidade pelo Ca é maior (SORATTO; CRUSCIOL, 2008).

Em relação ao teor de K trocável para a camada de 0-10 cm de profundidade do solo (Figura 37A), houve interação entre sistemas e doses de calcário, onde para os teores do solo cultivado sob sistema consorciado, as médias ajustaram-se a uma equação quadrática com DMET de 2193 kg ha^{-1} de calcário, com teor máximo de 4,61 $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$. Para a camada de 10-20 cm, houve interação entre sistemas e doses de gesso para os teores de K trocável nesta camada (Figura 37B). Tanto para o cultivo solteiro, quanto para o consorciado as médias ajustaram-se a equações quadráticas, apresentando DMET de 2184 e 3007 kg ha^{-1} de gesso e teores máximos de 3,84 e 3,75 $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$, respectivamente. Na camada mais profunda (20-40 cm), houve influência de maneira isolada apenas do gesso agrícola, com DMET de 2307 kg ha^{-1} e valor máximo de 2,72 $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$ (Figura 37C).

Figura 37 - Desdobramento da interação entre sistemas e doses de calcário na camada de 0-10 (A), 10-20 (B) cm e valores de K ($\text{mmolc}_c \text{dm}^{-3}$) no solo na camada de 20-40 cm (C) de profundidade em função das doses de calcário. Selvíria - MS, Brasil, 2017.



Fonte: Dados do próprio autor.

A calagem reduziu as perdas por lixiviação de K na camada superior do solo, independente do sistema de cultivo utilizado. Tal efeito pode estar relacionado ao efeito do calcário no aumento das cargas negativas dependentes de pH (QUAGGIO et al., 1982), e a quelatização dos macronutriente catiônicos divalentes (Ca e Mg) pela formação de complexos com ligantes orgânicos hidrossolúveis presentes nos resíduos vegetais (MIYAZAWA et al.,

1993), os quais são capazes de modificar suas cargas. Dessa maneira, as cargas livres dos coloides do solo seriam ocupadas por K^+ , aumentando a disponibilidade deste cátion (CAIRES et al., 1998).

Em relação ao gesso, na camada de 10-20 cm, doses acima de 2184 e 3007 $kg\ ha^{-1}$ de gesso proporcionaram aumento na lixiviação de potássio no solo cultivado sob sistema de cultivo solteiro e consorciado, respectivamente. Doses elevadas deste insumo podem aumentar a lixiviação deste elemento, principalmente nas camadas mais profundas do solo (ALVA; GASCHO, 1991; CRUSCIOL et al., 2016; OATES; CALDWELL, 1985). No solo sob cultivo solteiro, a partir de sua DMET estabelecida (2184 $kg\ ha^{-1}$), iniciou-se a lixiviação de K, enquanto que para o solo sob cultivo consorciado a dose para que este efeito tivesse início foi de 3007 $kg\ ha^{-1}$, ou seja, devido ao maior retorno de K proporcionado pela ciclagem de nutrientes provenientes da *Urochloa*, foi necessária uma dose maior de gesso para que houvesse redução nos teores de K do solo. Na camada mais profunda analisada (20-40 cm), apenas houve efeito do gesso de maneira isolada, sendo que doses maiores que 2307 $kg\ ha^{-1}$, ocorre aumento na lixiviação deste nutriente.

A saturação por bases (V%) na camada de 0-10 cm foi influenciada pela interação entre sistemas e doses de calcário (Tabela 14). No desdobramento, verificou-se que para o solo sob sistema de cultivo do milho solteiro, as médias ajustaram-se a uma equação quadrática, com DMET de 2843 $kg\ ha^{-1}$ e V% máximo de 63,70, enquanto que para o solo sob sistema consorciado, V% aumentou linearmente mediante acréscimo nas doses de calcário, apresentando V% de 79,0 na maior dose de calcário (Figura 38A). O solo sob cultivo de milho consorciado proporcionou valores de V% superiores ao encontrados sobre cultivo de milho solteiro. A ciclagem de nutrientes pela cobertura vegetal, associada aos ácidos orgânicos provenientes de sua decomposição podem ter aumentado a disponibilidade de cátions trocáveis na camada mais superficial (SORATTO; CRUSCIOL et al., 2008), elevando-se os valores de V%.

Tabela 14 - Valores de F e médias encontradas para saturação por bases (V%), teor de matéria orgânica (M.O) e enxofre (S- SO_4^{2-}) do solo em diferentes profundidades em função dos tratamentos. Selvíria - MS, Brasil, 2017.

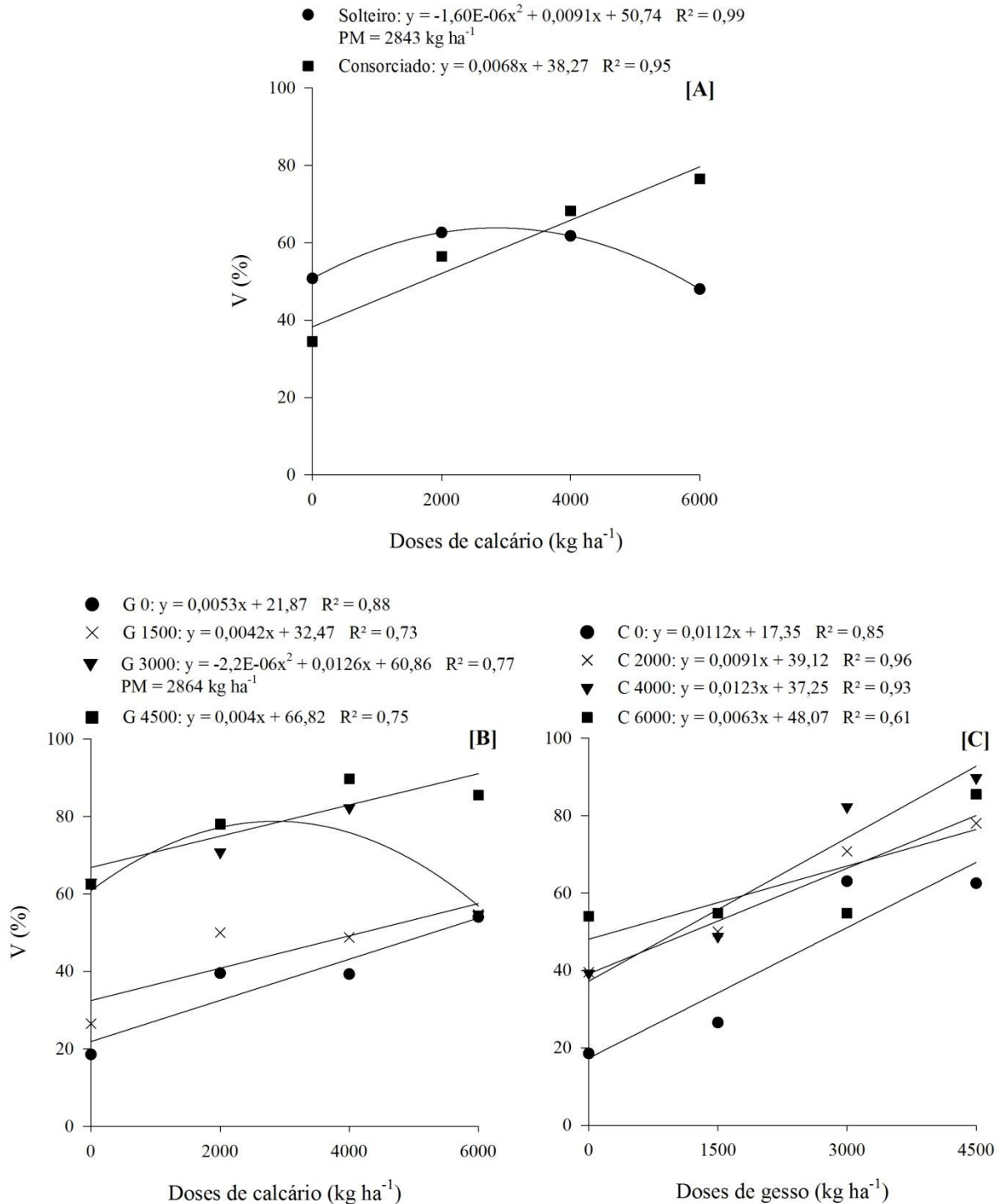
TRATAMENTOS	V (%)			M.O (g dm^{-3})			S- SO_4^{2-} (mg dm^{-3})		
	0-10	10-20	20-40	0-10	10-20	20-40	0-10	10-20	20-40
SISTEMA (C)									
Solteiro	58,93 a	56,00	47,53	25,21	19,40	16,03	58,65 a	58,00 b	57,68 b
Consociado	55,78 b	51,65	44,75	26,75	20,09	15,65	24,56 b	63,12 a	61,87 a
CALCÁRIO kg ha^{-1} (C)									
0	42,62	40,25	37,50	25,87	19,75	16,12	38,50	55,31	42,62
2000	59,56	48,43	39,50	27,18	23,12	17,00	45,00	70,62	75,37
4000	65,00	58,81	50,00	25,62	19,12	15,31	48,37	61,87	61,12
6000	62,25	67,81	57,56	25,25	17,00	14,93	34,56	54,43	60,00
GESSO kg ha^{-1} (G)									
0	37,81	51,75	44,81	27,43	20,68	15,75	14,68	18,81	32,25
1500	45,00	52,50	45,87	25,75	21,25	15,81	20,50	52,06	50,15
3000	67,68	53,93	46,75	24,87	18,25	16,06	53,68	82,50	80,62
4500	78,93	57,12	47,12	25,87	18,81	15,75	77,56	88,87	76,12
Teste F									
S	208,18*	6,88 ^{ns}	4,28 ^{ns}	5,44 ^{ns}	30,25 ^{ns}	0,18 ^{ns}	529,14**	1681,0*	4489,0**
C	21,28**	39,68**	22,86**	0,89 ^{ns}	16,10**	2,20 ^{ns}	5,81*	190,36**	5113,9**
G	68,63**	2,69 ^{ns}	0,36 ^{ns}	1,42 ^{ns}	5,05**	0,31 ^{ns}	257,35**	134,63**	227,28**
S x C	19,53**	2,87 ^{ns}	0,78 ^{ns}	3,98 ^{ns}	0,04 ^{ns}	0,18 ^{ns}	1,01 ^{ns}	0,36 ^{ns}	7,81*
S x G	2,16 ^{ns}	1,09 ^{ns}	2,80 ^{ns}	1,53 ^{ns}	0,02 ^{ns}	0,26 ^{ns}	20,45**	0,24 ^{ns}	0,32 ^{ns}
C x G	3,83**	1,86 ^{ns}	2,85*	1,91 ^{ns}	0,90 ^{ns}	0,36 ^{ns}	6,87**	8,80**	2,79 ^{ns}
S x C x G	1,52 ^{ns}	2,60 ^{ns}	0,82 ^{ns}	1,74 ^{ns}	0,01 ^{ns}	1,60 ^{ns}	2,44 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,02 ^{ns}
Média geral	57,35	53,82	46,14	25,98	19,75	15,84	41,60	60,56	59,78
CV (%)	16,17	10,76	14,78	13,75	13,02	6,69	17,67	18,29	10,09
DMS sistema	2,77	21,65	17,07	8,33	1,58	11,11	5,95	1,58	0,79
RL calcário	43,40**	118,83**	64,87**	0,74 ^{ns}	18,74**	3,61 ^{ns}	0,53 ^{ns}	21,98**	204,20**
RQ calcário	20,33**	0,05 ^{ns}	2,01 ^{ns}	0,89 ^{ns}	18,89**	1,02 ^{ns}	15,41**	439,70**	816,11**
RL gesso	198,37**	2,53 ^{ns}	1,05 ^{ns}	1,94 ^{ns}	9,00**	0,04 ^{ns}	727,99**	377,42**	577,09**
RQ gesso	0,77 ^{ns}	0,71 ^{ns}	0,04 ^{ns}	2,26 ^{ns}	9,00**	0,50 ^{ns}	119,91**	23,54**	54,96**
CV (%) subparcela	16,17	10,76	14,78	13,75	13,02	6,69	17,67	18,29	10,09

Nota: Médias seguidas de letra iguais, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

** significativo $p < 0,01$; * significativo $0,01 < p < 0,05$; ns: não significativo

Fonte: Dados do próprio autor.

Figura 38 - Desdobramento da interação entre sistemas e doses de calcário na camada de 0-10 cm (A) e desdobramento da interação significativa entre doses de calcário e gesso (B e C) para os valores de V (%) no solo na camada de 0-10 cm de profundidade. Selvíria - MS, Brasil, 2017.



Fonte: Dados do próprio autor.

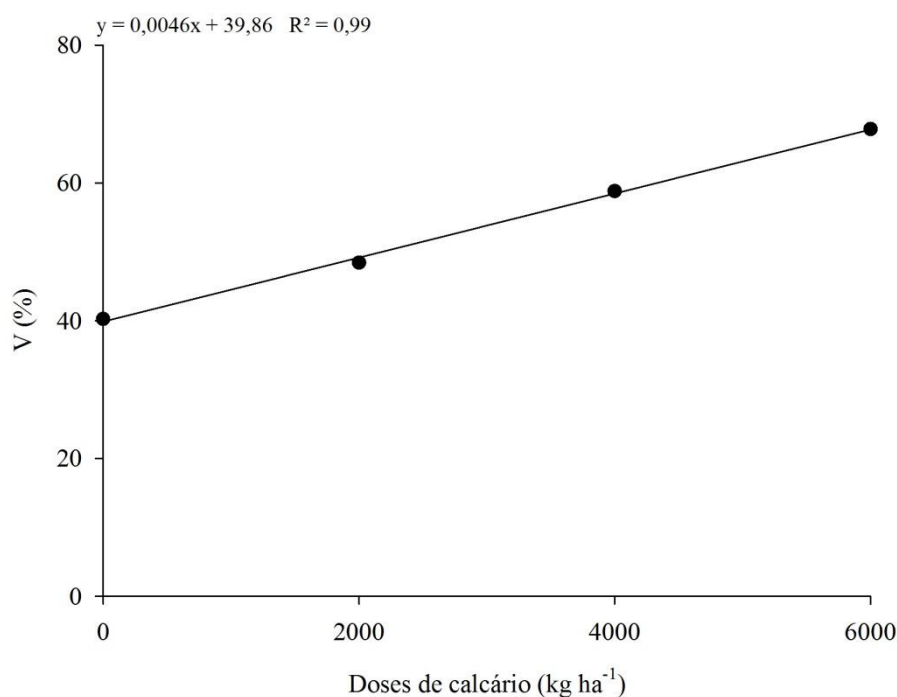
Em relação aos efeitos da associação entre as doses de gesso e calcário para este mesmo parâmetro, verificou-se interação significativa, onde para ausência de gessagem, 1500 e 4500

kg ha⁻¹, as médias referentes à saturação por bases na camada mais superficial ajustaram-se a equações lineares crescentes a medida que se elevou os níveis de calagem, com V% de 53,90, 57,70 e 90,82 (Figura 38B). Para a dose de 3000 kg ha⁻¹ de gesso, a DMET encontrada foi de 2864 kg ha⁻¹ de gesso com V% de 78,9. Quanto o desdobramento de gesso dentro de cada dose de calcário (Figura 38C), houve ajuste linear crescente para as médias encontradas, sendo que a saturação por bases aumentou linearmente mediante aumento nos níveis de gesso utilizados. Da menor para a maior dose de calcário associado a maior dose de gesso, os valores de V% obtidos foram de 67,75, 80,0, 93,2 e 76,42, respectivamente.

Resultados semelhantes foram obtidos para os teores de Ca e Mg, como visto anteriormente. O calcário é uma excelente fonte de Ca e Mg e o gesso de Ca, sendo que a associação destes dois materiais em doses equilibradas importantes aliados no aumento de produtividade das culturas (CAIRES et al., 2011). Mesmo na camada superficial, onde a fertilidade e o acúmulo de matéria orgânica tendem a serem maiores, é possível notar uma tendência a lixiviação de bases por meio de altas doses de gesso (CAIRES et al., 2004, SORATTO; CRUSCIOL, 2008; CAIRES et al., 2011; CRUSCIOL et al., 2016). V% acima de 70% foram obtidos nesta primeira camada com a associação dos dois produtos.

Na camada de 10-20 cm de profundidade, houve efeito predominante nos valores de V% apenas para calagem (Figura 39). Os valores de V% obtidos aumentaram linearmente mediante aumento nas doses de calcário, sendo que na maior dose do corretivo a saturação por bases obtida foi de 67,50. O efeito residual do calcário é maior que o do gesso em camadas intermediárias (CARVALHO, 2017), o que favorece aumento nas cargas dependentes de pH do solo nestas camadas, acumulando maiores teores de bases trocáveis. As aplicações anteriores provavelmente garantem pH numa faixa adequada para retenção de bases, enquanto as reaplicações tentam a fornecer mais cátions para permanecerem retidos na CTC do solo.

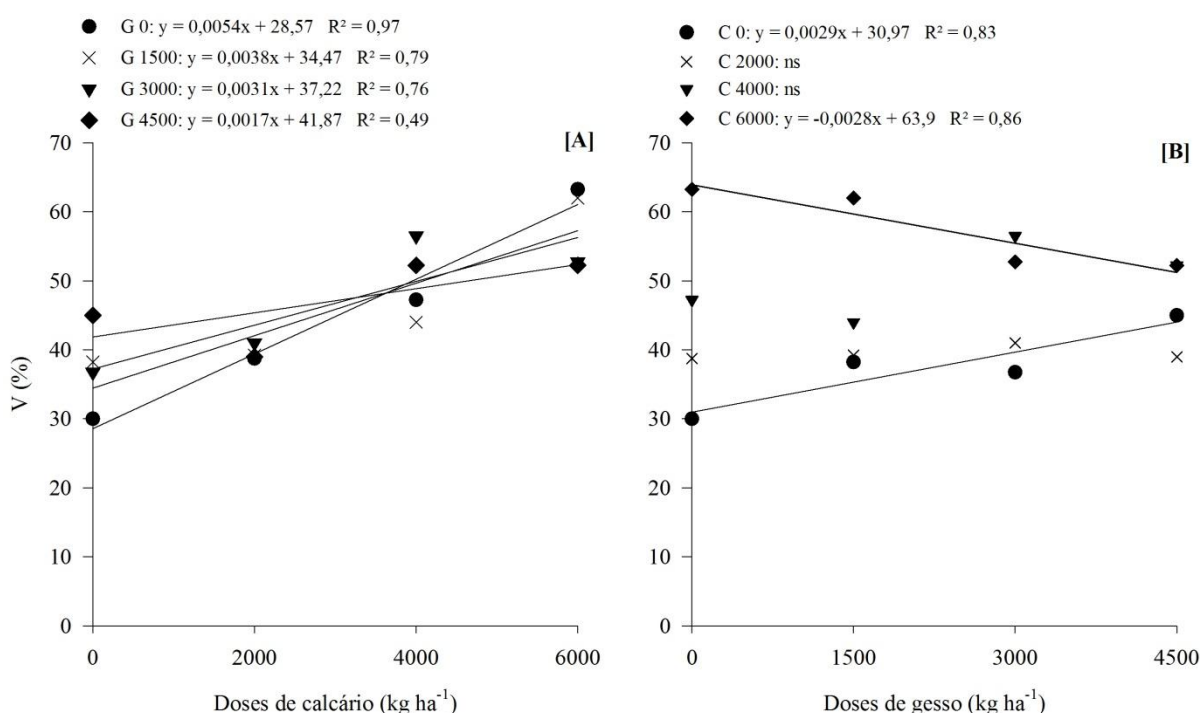
Figura 39 - Valores de V (%) no solo na camada de 10-20 cm de profundidade em função da reaplicação de doses de calcário. Selvíria - MS, Brasil, 2017.



Fonte: Dados do próprio autor.

Quanto à camada subsuperficial do solo (20-40 cm), apresentou interação significativa entre doses de gesso e calcário (Figura 40). No desdobramento, a saturação por bases aumentou linearmente para todas as doses de gesso utilizadas mediante aumento na dose de calcário utilizada (Figura 40A). Os valores de V% obtidos da menor para a maior dose de gesso associada à dose de 6000 kg ha⁻¹ de calcário foram de 61,0, 57,27, 55,82, 52,0, respectivamente. No desdobramento de gesso dentro de cada dose de calcário, para ausência de calagem, os valores de V% aumentaram linearmente mediante as doses de gesso, apresentando V% de 43,6, enquanto que para a maior dose do corretivo, os valores de V% reduziram linearmente em função do aumento dos níveis de gesso, apresentando redução de V% de 63,9 para 51,3, o que remete a uma redução de 20%.

Figura 40 - Desdobramento da interação significativa entre doses de calcário e gesso (A e B) para os valores de V (%) no solo na camada de 20-40 cm de profundidade. Selvíria - MS, Brasil, 2017.

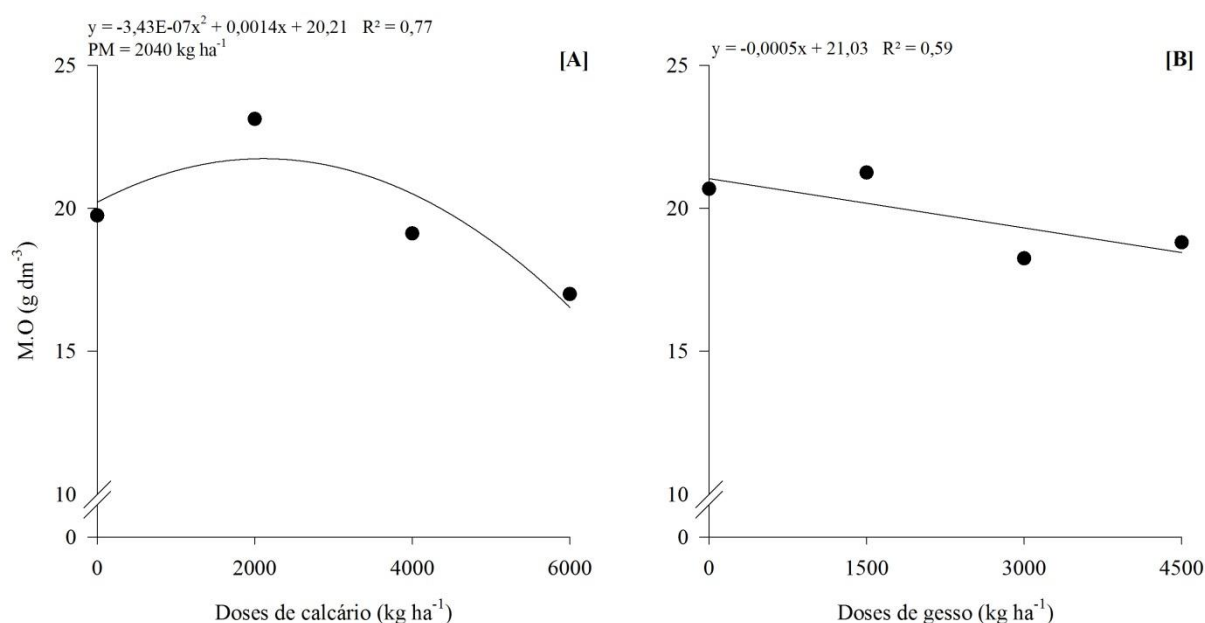


Os valores obtidos para V% na camada de 20-40 cm mostram que doses elevadas de gesso aumentam a lixiviação de bases com o passar do tempo. Em contrapartida, o uso do gesso pode promover maior mobilidade de cátions no solo devido à presença do íon acompanhante SO_4^{2-} (SOUSA et al., 1996), porém, é necessária adequação da quantidade aplicada, sendo que em excesso, a lixiviação de bases além da camada de 20-40 cm pode ser proporcional a dose e a frequência de uso deste insumo. Vale ressaltar também que o uso do gesso em solos com predisposição a lixiviação de K, garante maior manutenção deste íon nas camadas superiores, pois o mesmo não possui a formação de pares iônicos com o SO_4^{2-} como o Ca e o Mg (MIYAZAWA et al., 1993). Assim, as cargas que seriam ocupadas pelo Ca e Mg podem ser ocupadas pelo K (CAIRES et al., 1998), refletindo em ganho de produtividade em vários sistemas agrícolas (CAIRES et al., 2011; CRUSCIOL et al., 2016).

Os valores de MO na camada superficial do solo não foram influenciados pelos tratamentos utilizados (Tabela 14), fato este que pode estar relacionado ao cultivo de longo prazo no sistema plantio direto, havendo sempre deposição de restos vegetais sobre o solo, incrementando os valores de MO (COSTA; CRUSCIOL, 2016). No entanto, para a camada de 10-20 cm, houve influência de maneira isolada para calcário e gesso (Figura 41). Em relação ao calcário, verifica-se que as médias referentes aos teores de MO apresentaram

DMET de 2040 kg ha^{-1} , apresentando acúmulo máximo de $21,64 \text{ g dm}^{-3}$ (Figura 41A). Para o gesso, os teores de MO reduziram linearmente em função do aumento nas doses de gesso, apresentando $18,8 \text{ g dm}^{-3}$ na maior dose do condicionador.

Figura 41 - Valores de MO (g dm^{-3}) no solo na camada de 10-20 cm de profundidade em função da reaplicação de doses de calcário (A) e gesso (B). Selvíria - MS, Brasil, 2017.

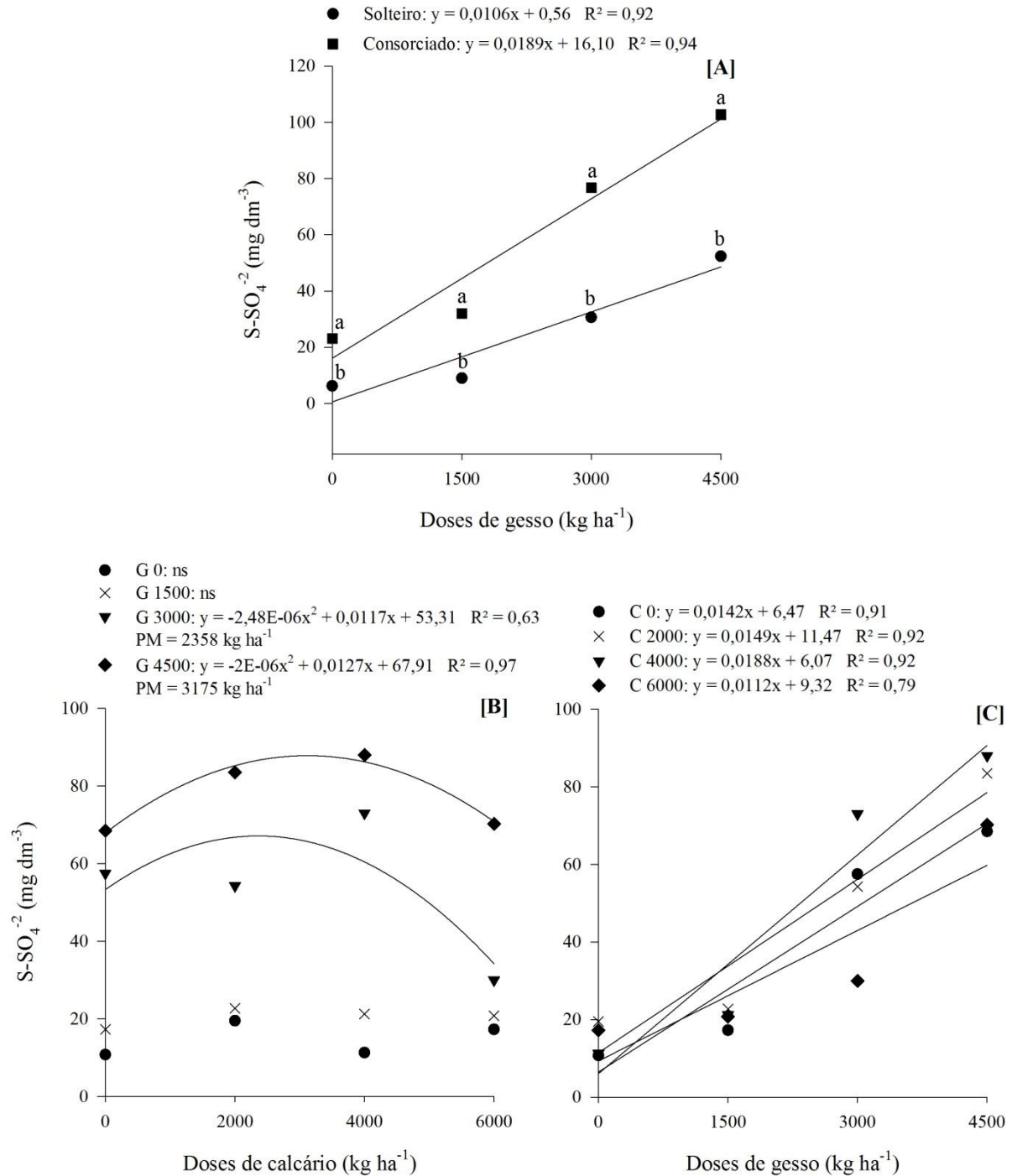


Fonte: Dados do próprio autor.

O teor de matéria orgânica aumentou com a calagem até a DMET encontrada, sendo que a partir desta, os teores começaram a reduzir. Em longo prazo, a prática da calagem tende a aumentar o acúmulo de carbono no sistema agrícola (COSTA; CRUSCIOL et al., 2016). Isto deve-se aos efeitos exercidos sobre a população microbiana, que, tendo tido melhores condições de ambiente, possivelmente aumentou o processo de decomposição de resíduos orgânicos no solo, aumentando o teores de MO (ROSA JUNIOR et al., 2006). Porém, cabe ressaltar que com a elevação abrupta do pH do solo pela calagem, ocorre aumento da mineralização da matéria orgânica, promovendo redução em seus teores no perfil do solo (ROSOLEM et al., 2003), corroborando o acontecido nas maiores doses do corretivo. Não houve efeito significativo para os teores de MO na camada de 20-40 cm de profundidade.

Os teores de S-SO_4^{2-} na camada de 0-10 cm de profundidade foram influenciados significativamente pela interação entre sistemas e doses de gesso (Figura 42A).

Figura 42 - Desdobramento da interação entre sistemas e doses de gesso na camada de 0-10 cm (A) e desdobramento da interação significativa entre doses de calcário e gesso (B e C) para os valores de $S-SO_4^{2-}$ ($mg\ dm^{-3}$) no solo na camada de 0-10 cm de profundidade. Selvíria - MS, Brasil, 2017.



Fonte: Dados do próprio autor.

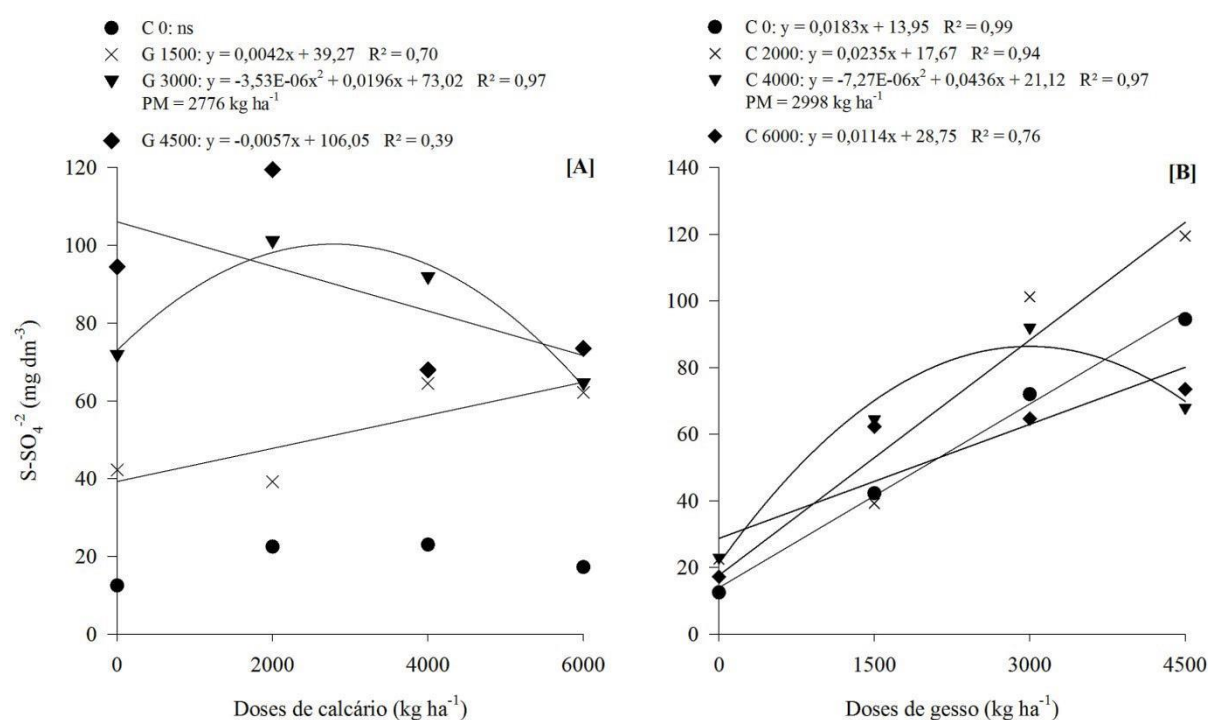
No solo em ambos os sistemas de cultivo, os teores de $S-SO_4^{2-}$ aumentaram em função do acréscimo nas doses de gesso, obtendo teores máximos de 48,26 e 101,1 $mg\ dm^{-3}$, respectivamente, para cultivo de milho solteiro e consorciado. Os teores de $S-SO_4^{2-}$ sob

cultivo consorciado foi 52% maior em relação ao solteiro. Em relação às doses dentro de cada sistema, sob consórcio os teores foram sempre superiores, independente da dose utilizada. A combinação de calcário e gesso também influenciou os teores de $S-SO_4^{2-}$ do solo nesta mesma camada de solo. Para as doses de 3000 e 4500 kg ha⁻¹, as DMET obtidas foram de 2358 e 3175 kg ha⁻¹ de calcário e teores de $S-SO_4^{2-}$ máximos de 67,11 e 88,0 mg dm⁻³, respectivamente (Figura 42B). Para as doses de calcário, os teores de $S-SO_4^{2-}$ aumentaram linearmente em função das doses de gesso utilizadas, apresentando da menor para a maior dose de calcário associada a maior dose de gesso, os teores de 70,37, 78,53, 90,67 e 59,72 mg dm⁻³, respectivamente (Figura 42C).

Os altos teores de $S-SO_4^{2-}$ encontrados na primeira camada está relacionado em maior parte a ciclagem de nutrientes provenientes dos cultivos anteriores (CAIRES et al., 2008), principalmente da *Urochloa*, a qual teve alto potencial de produção de fitomassa. A mineralização da MO é a principal fonte de S natural para as plantas, muitas vezes, suprimindo as necessidades das culturas sem a necessidade de adição de produtos a base de enxofre (MASCHIETTO, 2009). A contribuição do calcário no acúmulo de $S-SO_4^{2-}$ nesta camada é inferior ao encontrado para o gesso, porém, a associação destes dois insumos proporcionaram efeitos benéficos. Concomitante a este fato, é de suma importância salientar que a reaplicação de gesso realizada anteriormente não havia totalmente sido dissolvida, restando, portanto, fração residual deste produto no solo (SORATTO, 2005).

Para a camada de 10-20 cm, houve efeito significativo da associação entre calcário e gesso (Figura 43). Quando utilizou-se a dose de 1500 kg ha⁻¹ de gesso, as médias referentes aos teores de $S-SO_4^{2-}$ aumentaram linearmente em função das doses de calcário, apresentando 64,47 g dm⁻³, enquanto que para a dose de 3000 kg ha⁻¹, foi obtido DMET de 2776 kg ha⁻¹ de calcário e valor máximo de 100,2 g dm⁻³ (Figura 43A). Utilizando-se a dose de 4500 kg ha⁻¹ de gesso, os teores de $S-SO_4^{2-}$ decresceram linearmente mediante aumento na calagem. Em relação às doses de calcário, para a ausência de calagem, 2000 e 6000 kg ha⁻¹ de calcário, houve ajuste linear crescente mediante aumento nos níveis de gessagem apresentando valores de 96,3, 126,9 e 80,0 g dm⁻³ de $S-SO_4^{2-}$, respectivamente. Para a dose de 3000 kg ha⁻¹, obteve-se o valor de 86,5 g dm⁻³ quando associado a DMET de 2998 kg ha⁻¹ de gesso.

Figura 43 - Desdobramento da interação significativa entre doses de calcário e gesso (A e B) para os valores de $S\text{-SO}_4^{2-}$ (mg dm^{-3}) no solo na camada de 10-20 cm de profundidade. Selvíria - MS, Brasil, 2017.



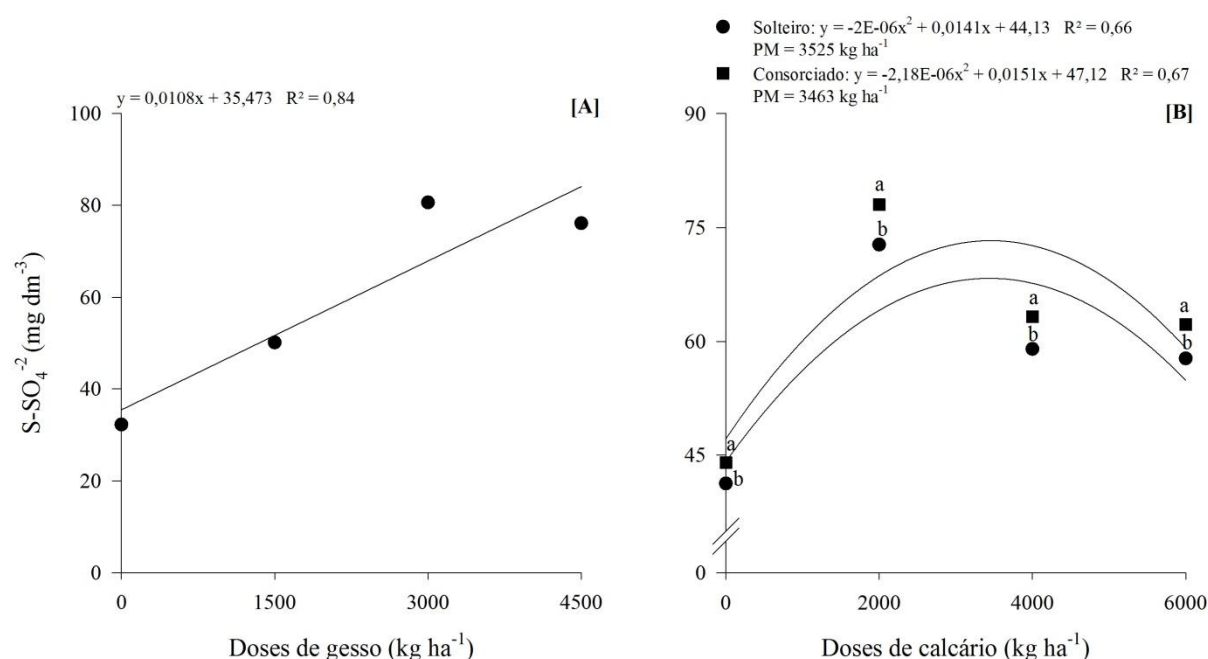
Fonte: Dados do próprio autor.

Os valores de $S\text{-SO}_4^{2-}$ encontrados para a camada de 10-20 cm são maiores que os obtidos nas camadas superficiais. Este fato deve-se a movimentação deste ânion no perfil do solo, uma vez que as cargas positivas nas primeiras camadas são menores, devido a maior CTC (QUAGGIO et al., 1993). Cabe ressaltar que os teores de MO nesta camada não são muito inferiores aos encontrados na camada de 0-10 cm, sendo, portanto, fonte orgânica de S, além de apresentar cargas positivas capazes de reter o $S\text{-SO}_4^{2-}$ (SORATTO; CRUSCIOL, 2008).

Na camada de 20-40 cm de profundidade, os teores de $S\text{-SO}_4^{2-}$ foram influenciados de maneira isolada pelas doses de gesso, sendo que os teores aumentaram linearmente em função das doses aplicadas, apresentando 84,1 mg dm^{-3} na maior dose do condicionador (Figura 44A). Teores de $S\text{-SO}_4^{2-}$ são considerados adequados quando superiores a 50 $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$ para a maioria das espécies cultivadas e acima de 100 $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$ para espécies exigentes como as leguminosas, brássicas e liliáceas (CQFSRS/SC, 2014). Esta exigência relaciona-se a grande quantidade de proteínas que as mesmas são capazes de acumular (RHEINHEIMER et al., 2005; ALVAREZ. et al., 2007). Com a aplicação de gesso e proporcionalmente à dose, os teores de $S\text{-SO}_4^{2-}$ aumentam em todas as profundidades, sendo maiores os valores nas camadas mais profundas com o passar do tempo, o que comprova a alta mobilidade desse

nutriente em solos com carga líquida negativa (QUAGGIO et al., 1993; NOGUEIRA; MELO, 2003). Cabe salientar que mesmo na aplicação da menor dose de gesso houve elevação nos teores de S do solo para níveis adequados a todas as espécies, portanto, o gesso pode ser utilizado como fonte deste nutriente, mesmo em doses pequenas (PAULETTI et al., 2014).

Figura 44 - Valores de $S-SO_4^{2-}$ ($mg\ dm^{-3}$) no solo na camada de 20-40 cm (A) de profundidade em função da reaplicação de doses de gesso e desdobramento da interação entre sistemas e doses de calcário na camada de 20-40 cm (B) de profundidade para os valores de $S-SO_4^{2-}$ ($mg\ dm^{-3}$) do solo. Selvíria - MS, Brasil, 2017.



Fonte: Dados do próprio autor.

Para esta mesma cama, também obteve-se efeito significativo da interação entre sistemas e doses de calcário (Figura 44B). Para o solo cultivado sob ausência e presença de *Urochloa*, encontrou-se DMET de 3525 e 3463 $kg\ ha^{-1}$ de calcário, apresentando acúmulo de 68,98 e 73,27 $mg\ dm^{-3}$ de $S-SO_4^{2-}$, respectivamente. Em relação ao sistema dentro de cada dose, sob sistema de cultivo consorciado os valores obtidos foram maiores para todas as doses utilizadas. O calcário pode ter propiciado maiores condições de desenvolvimento da *Urochloa*, o que refletiu em maior fitomassa produzida, assim, no processo de ciclagem de nutrientes o fornecimento de S nesse tipo de sistema é maior que o cultivado sob vegetação espontânea. Os microcanais formados a partir da decomposição do sistema radicular da *Urochloa*, associado à precipitação, pode ter promovido maior carreamento de nutrientes para as camadas mais profundas, além de que, o $S-SO_4^{2-}$ por ser aniônico, tende a ser lixiviado com maior facilidade das camadas mais superficiais do solo (MIYAZAWA et al., 1993).

A aplicação de calcário em superfície, em sistema plantio direto tem efeito sobre a correção da acidez e elevação dos teores de Ca e Mg do solo, principalmente quando associado ao gesso, sendo possível uma melhor distribuição destes nutrientes pelo perfil do solo e fornecimento de $S-SO_4^{2-}$ para o sistema. A aplicação de gesso contribui para que os efeitos da calagem alcancem maiores profundidades, podendo ser utilizado como produto complementar ao calcário. Esta associação se torna uma alternativa viável que tende a potencializar os efeitos do calcário, além de condicionar o ambiente radicular do subsolo enquanto o calcário ainda não alcance esta camada do solo.

Quanto aos micronutrientes do solo, verifica-se que para os teores de Cu na camada de 0-10 cm do solo, efeito significativo de maneira isolada para as doses de calcário (Tabela 15).

Tabela 15 - Valores de F e médias encontradas para teores de cobre (Cu) e ferro (Fe) do solo em diferentes profundidades em função dos tratamentos. Selvíria - MS, Brasil, 2017.

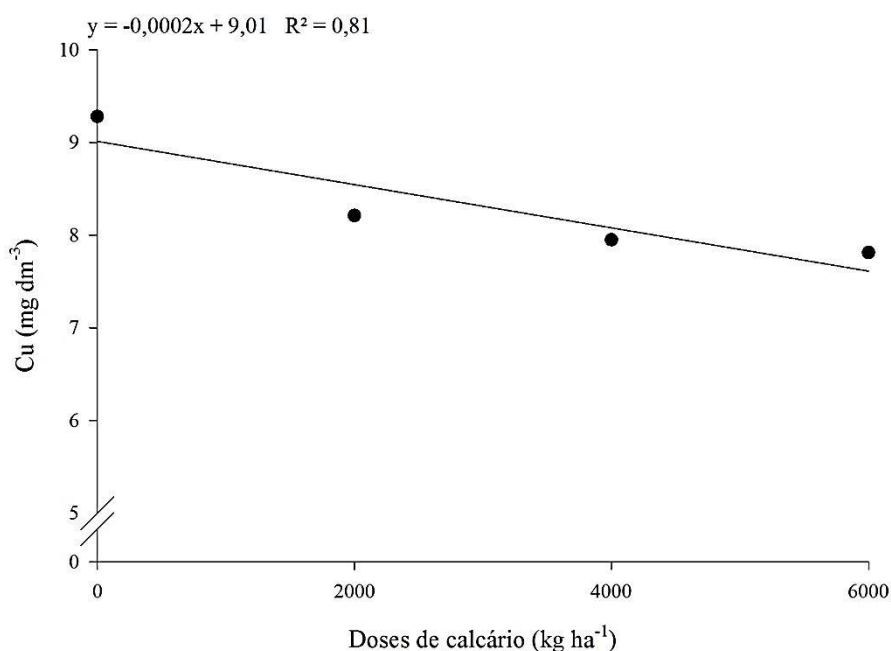
TRATAMENTOS	Cu			Fe		
	----- (mg dm ⁻³) -----					
	0-10	10-20	20-40	0-10	10-20	20-40
SISTEMA (C)						
Solteiro	8,63	8,53	6,59	35,06	33,21	29,92
Consoiciado	8,00	8,34	6,80	29,86	34,96	32,55
CALCÁRIO kg ha⁻¹ (C)						
0	9,28	8,75	6,46	45,77	42,00	38,50
2000	8,21	8,70	6,87	33,53	37,00	33,90
4000	7,95	8,40	6,46	26,14	30,93	28,40
6000	7,81	7,89	6,99	24,40	26,43	24,14
GESSO kg ha⁻¹ (G)						
0	8,78	8,91	6,98	34,89	35,06	32,12
1500	8,18	8,50	6,60	32,95	35,31	32,35
3000	7,89	8,09	6,35	29,86	33,62	30,83
4500	8,41	8,24	6,86	32,14	32,37	29,64
Teste F						
S	16,32 ^{ns}	0,59 ^{ns}	0,21 ^{ns}	20,63 ^{ns}	0,25 ^{ns}	0,68 ^{ns}
C	5,30 [*]	2,08 ^{ns}	0,38 ^{ns}	78,43 ^{**}	14,74 ^{**}	14,41 ^{**}
G	1,65 ^{ns}	2,77 ^{ns}	1,36 ^{ns}	1,52 ^{ns}	0,54 ^{ns}	0,54 ^{ns}
S x C	0,69 ^{ns}	0,89 ^{ns}	0,26 ^{ns}	3,00 ^{ns}	0,98 ^{ns}	0,94 ^{ns}
S x G	1,78 ^{ns}	1,64 ^{ns}	0,51 ^{ns}	1,43 ^{ns}	1,20 ^{ns}	1,18 ^{ns}
C x G	1,64 ^{ns}	1,90 ^{ns}	0,92 ^{ns}	1,47 ^{ns}	0,22 ^{ns}	0,21 ^{ns}
S x C x G	2,22 ^{ns}	0,36 ^{ns}	0,77 ^{ns}	0,59 ^{ns}	1,05 ^{ns}	1,03 ^{ns}
Média geral	8,31	8,43	6,70	32,46	34,09	31,23
DMS sistema	1,98	3,05	5,87	14,55	44,47	40,42
RL calcário	12,99 [*]	5,50 ^{ns}	0,34 ^{ns}	212,33 ^{**}	44,09 ^{**}	43,13 ^{**}
RQ calcário	2,63 ^{ns}	0,73 ^{ns}	0,02 ^{ns}	22,92 ^{**}	0,02 ^{ns}	0,01 ^{ns}
RL gesso	2,55 ^{ns}	6,31 [*]	0,29 ^{ns}	2,25 ^{ns}	1,37 ^{ns}	1,37 ^{ns}
RQ gesso	8,05 ^{**}	1,67 ^{ns}	3,44 ^{ns}	1,56 ^{ns}	0,16 ^{ns}	0,17 ^{ns}
CV (%) subparcela	9,42	10,20	14,48	20,85	21,83	#21,95

Nota: Médias seguidas de letra iguais, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. ** significativo $p < 0,01$; * significativo $0,01 < p < 0,05$; ns: não significativo. #Dados corrigidos seguindo a equação $(x+0,5)^{0,5}$

Fonte: Dados do próprio autor.

Os teores de Cu reduziram linearmente mediante aumento na calagem (Figura 45), passando de 9,01 para 7,8 mg dm⁻³, porém, este valor ainda encontra-se como médio, segundo Raij et al., 1996. O excesso de calagem aplicado em superfície tende a reduzir os teores de alguns micronutrientes catiônicos divalentes, como é o caso do cobre, principalmente nas camadas mais superficiais do solo (TOSCANI; CAMPOS, 2017). A indisponibilidade destes micronutrientes em condições de elevação de pH ocorre possivelmente pela hidroxilação e formação de espécies metálicas de baixa solubilidade (LINDSAY, 1979; BARBER, 1995).

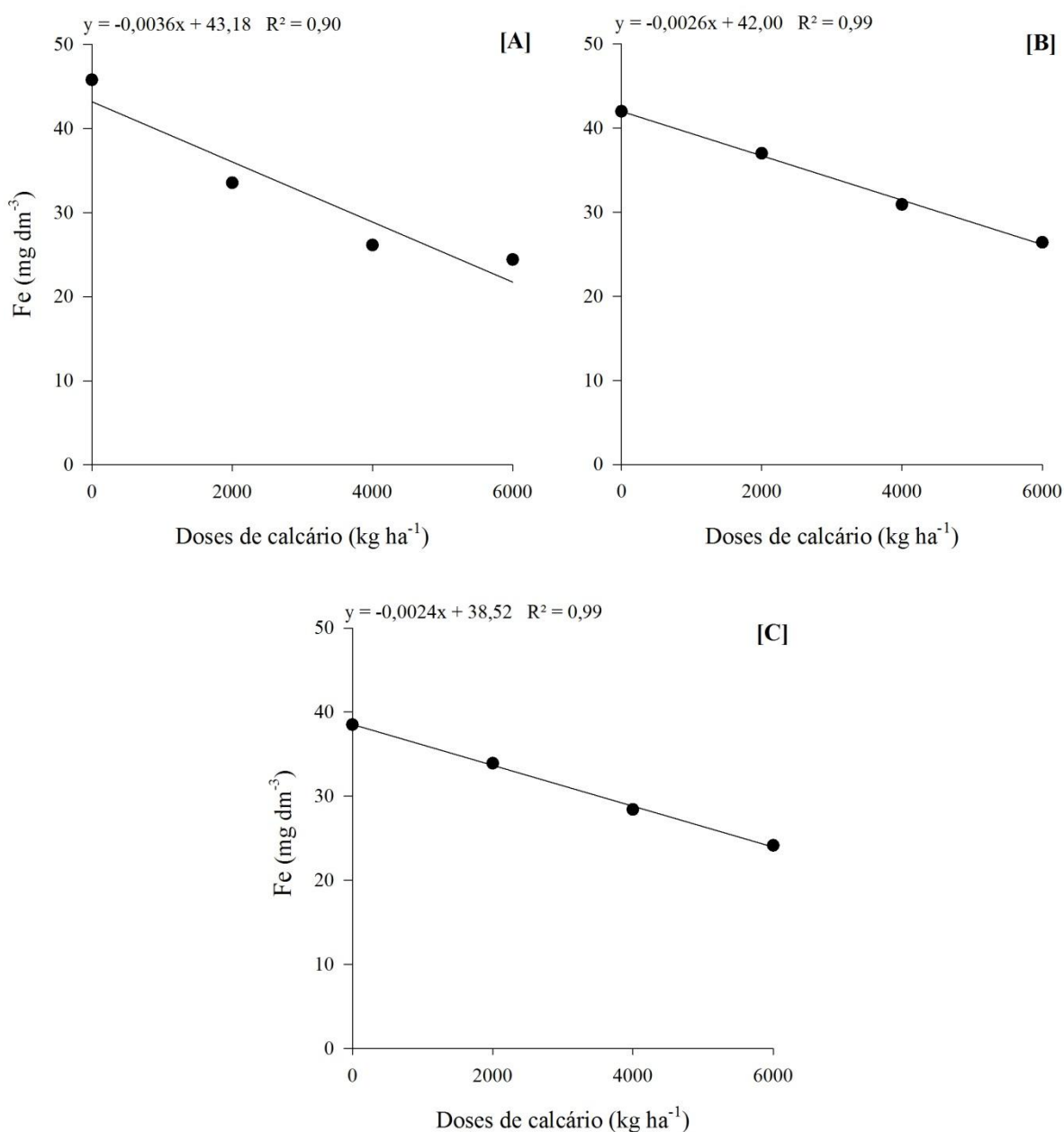
Figura 45 - Valores de Cu (mg dm⁻³) no solo na camada de 0-10 cm de profundidade em função da reaplicação de doses de calcário. Selvíria - MS, Brasil, 2017.



Fonte: Dados do próprio autor.

A mesma tendência encontrada para o Cu na camada de 0-10 cm foi observada para os teores de Fe em todas as camadas estudadas (Figura 46). Houve redução linear nos teores de Fe mediante aumento nas doses de calcário, sendo encontrados valores de 21,58, 26,4 e 24,12 g dm⁻³, da camada mais superficial para a mais profunda, respectivamente. Os teores encontrados são considerados altos para todas as camadas segundo Raij et al., 1996. Segundo Nunes et al. (2004), a elevação no pH do solo por meio da calagem inibe de maneira intensa o fluxo difusivo de Fe, sendo que em condições de estresse hídrico causar o aparecimento de sintomas de deficiência deste elemento devido a baixa absorção do mesmo.

Figura 46 - Valores de Fe (mg dm^{-3}) no solo nas camadas de 0-10 (A), 10-20 (B) e 20-40 (C) cm de profundidade em função da reaplicação de doses de calcário. Selvíria - MS, Brasil, 2017.



Fonte: Dados do próprio autor.

Os teores de Mn do solo na camada de 0-10 cm de profundidade foram influenciados pela pelo cultivo com *Urochloa* anteriormente, sendo que na presença da mesma, os teores encontrados foram superiores ao cultivo de milho solteiro (Tabela 16). Os resíduos vegetais depositados na superfície do solo contêm muitos compostos orgânicos capazes de percolar no solo devido a precipitação e complexarem com àqueles derivados da atividade microbiana do solo, favorecendo a formação de ligações com os sítios ativos de vários micronutrientes (VAN HEES et al., 2003). Este fato pode ajudar no caminhamento de micronutrientes até as

raízes das plantas em condições de baixa disponibilidade do elemento no solo (PEGORARO et al., 2006).

Tabela 16 - Valores de F e médias encontradas para teores de cobre (Cu) e ferro (Fe) do solo em diferentes profundidades em função dos tratamentos. Selvíria - MS, Brasil, 2017.

TRATAMENTOS	Mn			Zn		
	----- (mg dm ⁻³) -----					
	0-10	10-20	20-40	0-10	10-20	20-40
SISTEMA (C)						
Solteiro	14,03 a	7,55	5,80	1,83	0,51	0,09 b
Consoiciado	7,87 b	10,29	8,60	1,78	0,51	0,10 a
CALCÁRIO kg ha⁻¹ (C)						
0	16,25	10,59	8,64	2,89	0,45	0,08
2000	11,32	10,31	8,29	2,16	0,75	0,14
4000	8,73	7,81	5,79	1,15	0,48	0,09
6000	7,48	6,96	6,09	1,01	0,35	0,06
GESSO kg ha⁻¹ (G)						
0	12,45	9,41	7,59	1,98	0,51	0,09
1500	11,56	8,66	7,20	1,85	0,50	0,09
3000	10,22	8,06	6,21	1,76	0,51	0,10
4500	9,55	9,54	7,81	1,63	0,51	0,10
Teste F						
S	655,23*	2,17 ^{ns}	2,23 ^{ns}	64,00 ^{ns}	1,78 ^{ns}	361,00*
C	8,69**	5,77**	1,81 ^{ns}	1218,81**	48,22**	56,12**
G	27,14**	0,92 ^{ns}	2,03 ^{ns}	29,25**	0,03 ^{ns}	0,01 ^{ns}
S x C	3,10 ^{ns}	1,51 ^{ns}	1,30 ^{ns}	0,73 ^{ns}	0,69 ^{ns}	1,45 ^{ns}
S x G	1,02 ^{ns}	1,70 ^{ns}	0,63 ^{ns}	0,07 ^{ns}	0,22 ^{ns}	0,37 ^{ns}
C x G	7,07**	1,20 ^{ns}	1,30 ^{ns}	7,73**	0,62 ^{ns}	0,74 ^{ns}
S x C x G	1,95 ^{ns}	0,88 ^{ns}	0,53 ^{ns}	0,05 ^{ns}	0,48 ^{ns}	0,56 ^{ns}
Média geral	10,95	8,92	7,20	1,80	0,51	0,09
DMS sistema	3,05	3,62	3,74	0,07	0,04	0,01
RL calcário	0,31**	10,35*	4,33 ^{ns}	3417,71**	28,25**	32,63**
RQ calcário	,44**	0,09 ^{ns}	0,09 ^{ns}	133,88**	74,96**	90,14**
RL gesso	0,20 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,02 ^{ns}	87,17**	0,03 ^{ns}	0,02 ^{ns}
RQ gesso	0,19 ^{ns}	2,39 ^{ns}	4,04 ^{ns}	0,05 ^{ns}	0,00 ^{ns}	0,00 ^{ns}
CV (%) subsubparcela	9,15	#32,37	27,45	6,02	#21,74	#21,23

Nota: Médias seguidas de letra iguais, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

** significativo $p < 0,01$; * significativo $0,01 < p < 0,05$; ns: não significativo

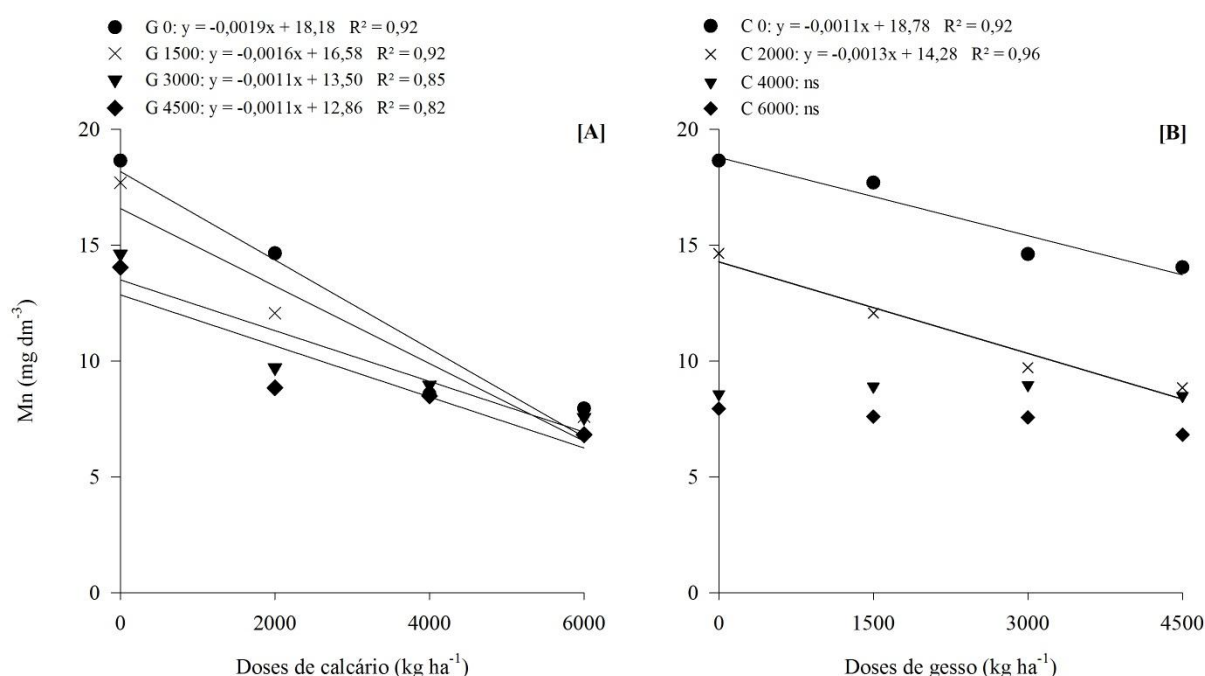
#Dados corrigidos seguindo a equação $(x+0,5)^{0,5}$

Fonte: Dados do próprio autor.

Ainda para esta camada, os teores de Mn também foram influenciados pela interação entre doses de gesso e calcário (Figura 47). Para todas as doses de gesso, os teores de Mn reduziram linearmente em função do aumento das doses de calcário, apresentando da menor para a maior dose de gesso associada a maior dose do corretivo os teores de 6,78, 6,98, 6,9 e

6,26 g dm⁻³, respectivamente (Figura 47A). Estes valores mesmo na maior dose do corretivo se enquadram como altos, segundo Raij et al., 1996. Para as doses de calcário em função das doses de gesso, a ausência de calagem e a dose de 2000 kg ha⁻¹ promoveram decréscimo nos teores de Mn mediante aumento nas doses de gesso, apresentando na maior dose de gesso, os teores de 13,83 e 8,43 g dm⁻³, respectivamente (Figura 47B). Cabe ressaltar que o calcário apresenta maior influência sobre os teores de micronutrientes catiônicos do que o gesso (CAMARGO et al., 1982).

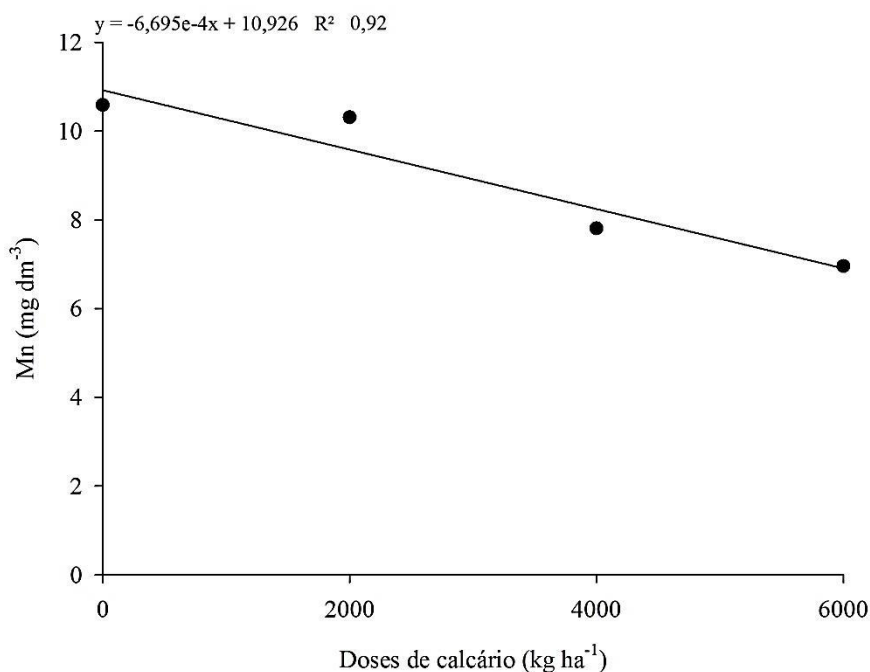
Figura 47 - Desdobramento da interação significativa entre doses de calcário e gesso (A e B) para os valores de Mn (mg dm⁻³) no solo na camada de 0-10 cm de profundidade. Selvíria - MS, Brasil, 2017.



Fonte: Dados do próprio autor.

Na camada de 10-20 cm, o Mn foi influenciado de maneira isolada apenas pelo calcário (Figura 48). Os valores obtidos reduziram linearmente mediante aumento na calagem, sendo encontrados teores de 6,9 g dm⁻³ na maior dose do corretivo. O Mn dentre todos os micro catiônicos apresenta a maior difusividade no solo, possivelmente pelo seu alto teor em solos de cerrado e à maior solubilidade em relação aos outros três micronutrientes catiônicos (BARBER, 1995; PEGORARO et al., 2006). Este fato correlaciona-se com capacidade de toxidez exercida pelo mesmo em condições de solos ácidos.

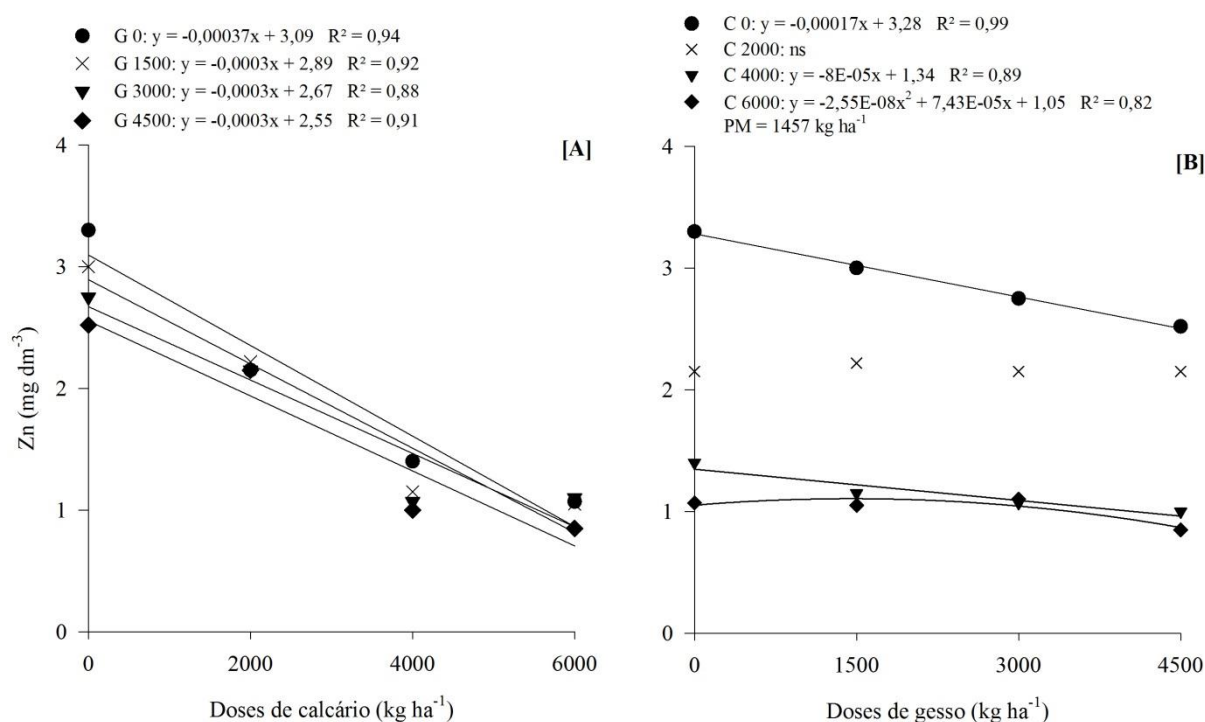
Figura 48 - Valores de Mn (mg dm^{-3}) no solo nas camadas de 10-20 cm de profundidade em função da reaplicação de doses de calcário. Selvíria - MS, Brasil, 2017.



Fonte: Dados do próprio autor.

Os teores de Zn do solo na camada de 0-10 cm de profundidade foram alterados pela combinação entre doses de calcário e gesso (Figura 49). Para todas as doses de gesso utilizadas, os teores de Zn reduziram pelo aumento dos níveis de calagem, sendo encontrados valores de 0,87, 1,09, 0,87 e 0,75 g dm^{-3} da menor para a maior dose de gesso, respectivamente (Figura 49A). Na ausência de calagem e para a dose de 4000 kg ha^{-1} , os teores de Zn do solo reduziram linearmente pelo aumento das doses de gesso, obtendo 2,51 e 0,98 g dm^{-3} , para as mesmas, enquanto que para a maior dose do corretivo, as médias ajustaram-se a uma equação quadrática, com DMET de 1457 kg ha^{-1} de gesso e teor de 1,1 g dm^{-3} . É notório o efeito do calcário sobre a concentração destes micronutrientes, podendo o mesmo ser potencializado pelas doses de gesso. Os teores de Zn são classificados como médios segundo Raij et al., 1996. Como visto anteriormente, a calagem em excesso possui a capacidade de reduzir a disponibilidade de micronutrientes catiônicos na solução do solo devido formação de compostos de baixa solubilidade, levando ao decréscimo do seu fluxo difusivo (BARBER, 1995; PEGORARO et al., 2006).

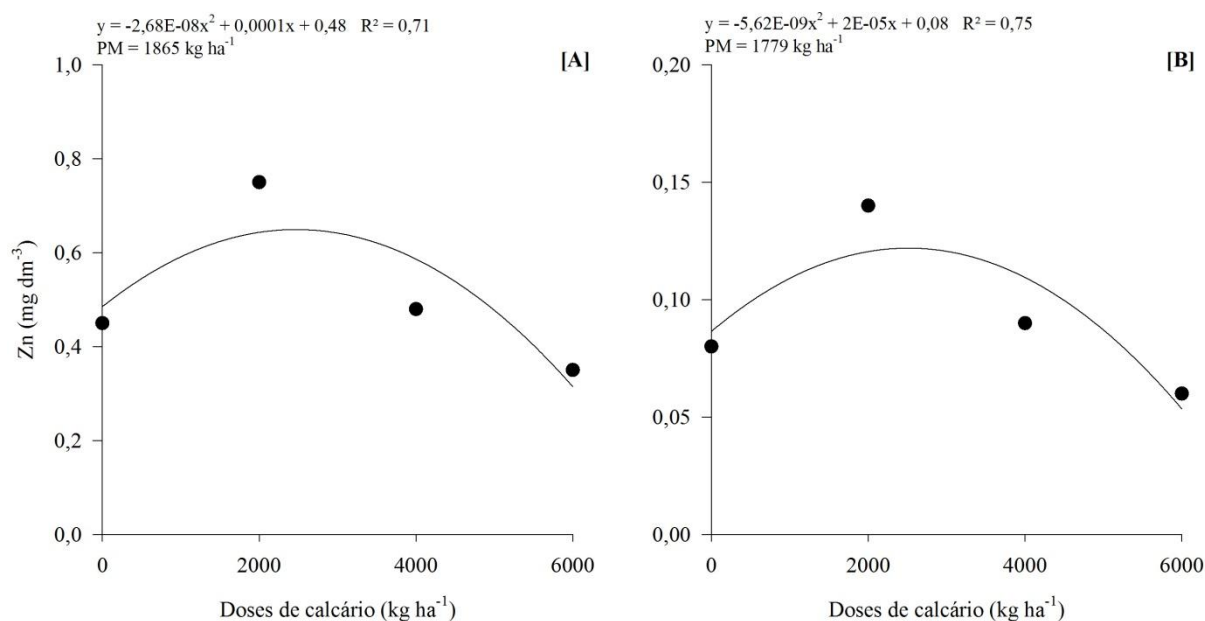
Figura 49 - Desdobramento da interação significativa entre doses de calcário e gesso (A e B) para os valores de Zn (mg dm^{-3}) no solo na camada de 0-10 cm de profundidade. Selvíria - MS, Brasil, 2017.



Fonte: Dados do próprio autor.

Para a camada de 10-20 e 20-40 cm de profundidade (Figura 50A e B, respectivamente), os teores de Zn do solo foram influenciados pelas doses de calcário, ajustando-se a equações quadráticas com DMET de 1865 e 1779 kg ha^{-1} , respectivamente. Doses maiores do corretivo proporcionaram incrementos decrescentes, reduzindo os teores de Zn do solo. Os teores máximos encontrados foram de 0,57 e 0,01 g dm^{-3} , para as duas profundidades, respectivamente. Segundo Raij et al. (1996), o teor encontrado para a camada de 10-20 e 20-40 cm são considerados baixos para o cultivo da maioria das culturas. O Zn é um elemento importante para as plantas, uma vez que é responsável pela ativação de várias enzimas, como a sintetase do triptofano, enzima precursora do ácido-indolacético (AIA) (MASCARENHAS et al., 2014).

Figura 50 - Valores de Zn (mg dm^{-3}) no solo na camada de 10-20 (A) e 20-10 (B) cm de profundidade em função da reaplicação de doses de calcário. Selvíria - MS, Brasil, 2017.



Fonte: Dados do próprio autor.

Dessa maneira, é necessário uma boa distribuição deste e outros micronutrientes no perfil do solo. O sistema plantio direto prioriza o acúmulo de palha sobre o solo, assim, com o passar do tempo e incorporação de maiores teores de matéria orgânica no solo, a disponibilidade reduzida de micronutrientes catiônicos, muitas vezes imposta pela calagem superficial, será menos limitante ao crescimento de plantas (PEGORARO et al., 2006).

Os micronutrientes, de maneira isolada ou conjunta, atuam em importantes processos fisiológicos e bioquímicos no metabolismo da planta, influenciado direta ou indiretamente na manutenção do potencial produtivo das culturas (HANSEL e OLIVEIRA, 2016). Sua disponibilidade no perfil do solo, além das camadas mais superficiais garante boa nutrição, além de garantir problemas com indisponibilidade destes por problemas de correção de acidez em excesso (MASCARENHAS et al., 2014).

5 CONCLUSÕES

O efeito residual da reaplicação de 2014 das maiores doses de calcário proporciona maior produtividade na cultura da soja dois anos depois.

A combinação das doses intermediárias de calcário e gesso reaplicadas em 2016 proporciona maiores teores de Ca foliar no milho e na soja.

Elevadas doses de calcário reduzem os teores de micronutrientes folhares.

O milho quando em consórcio com *Urochloa brizantha* cv. Marandu é mais produtivo, associado à dose de 3031 kg ha⁻¹ de calcário dolomítico.

A produtividade de grãos é influenciada positivamente pela reaplicação de calcário e gesso, sendo que a combinação da dose de 4000 kg ha⁻¹ de calcário com doses entre 1500 - 3000 kg ha⁻¹ de gesso proporcionam as maiores produtividades para o milho e soja.

A reaplicação superficial de calcário e gesso combinados promoveram redução da acidez e elevação dos teores de Ca e Mg no perfil do solo.

A reaplicação de gesso agrícola promove aumentos nos teores de Ca e S, e redução na atividade do Al trocável no solo, contribuindo para que os efeitos da calagem superficial nas características químicas do solo alcançassem, de forma mais rápida, as camadas do subsolo.

REFERÊNCIAS

- ALLEONI, L. R. F.; CAMBRI, M. A.; CAIRES, E. F. Atributos químicos de um Latossolo de cerrado sob plantio direto, de acordo com doses e formas de aplicação de calcário. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 29, n. 6, p. 923-934, 2005.
- ALMEIDA, D. O.; BAYER, C.; ALMEIDA, H. C. Fauna e atributos microbiológicos de um Argissolo sob sistemas de cobertura no Sul do Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 51, n. 9, p. 1140-1147, 2016.
- ALVA, A. K., GASCHO, G. J. Differential leaching of cations and sulfate in gypsum amended soils. **Communications in soil science and plant analysis**, New York, v. 22, n. 11-12, p. 1195-1206, 1991.
- ALVAREZ V., V. H.; ROSCOE, R.; KURIHARA, C. H.; PEREIRA, N. F. Enxofre. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V. V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (Eds.) **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p.595-644.
- AMADO, T.J.C. Manejo da palha, dinâmica da matéria orgânica e ciclagem de nutrientes em plantio direto. In: Encontro Nacional De Plantio Direto Na Palha, 7., Foz do Iguaçu, 2000. **Anais...** Ponta Grossa, FEBRAPDP, 2000. p. 105-111.
- AMARAL L. A.; ASCARI J. P.; DUARTE W. M.; MENDES I. R. N.; SANTOS E. S.; JULIO O. L. L. Efeito de doses de gesso agrícola na cultura do milho e alterações químicas no solo. **Agrarian**, Dourados, v. 10, n. 35, p. 31-41, 2017.
- ANDREOTTI, M.; SOUZA, E. D.; CRUSCIOL, C. A. C. Componentes morfológicos e produção de matéria seca de milho em função da aplicação de calcário e zinco. **Scientia agrícola**, Piracicaba, v. 58, n. 2, p. 321-327, 2001.
- ARAÚJO É. O.; SANTOS E. F.; CAMACHO M. A. Absorção de cálcio e magnésio pelo algodoeiro cultivado sob diferentes concentrações de boro e zinco. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 8, n. 3, 2013.
- ARGENTA, G.; SANGOI, L. Arranjo de plantas em milho: análise do estado-da-arte. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 31, n. 6, 2001.
- BARBER, S. A. **Soil nutrient bioavailability: a mechanistic approach**. 2.ed. New York, John Wiley & Sons, 1995. 414 p.
- BARIZON, R. R. M. **Calagem na superfície para a cultura da soja, em semeadura direta sobre *Brachiaria brizantha***. Botucatu, 2001. 88 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2001.
- BAYER, C.; LOVATO, T.; DIECKOW, J.; ZANATTA, J.A.; MIELNICZUK, J. A method for estimating coefficients of soil organic matter dynamics based on long-term experiments. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 91, n. 1-2, p. 217-226, 2006.

BENDER R. R.; HAEGELE, J. W.; RUFFO, M. L.; BELOW, F. E. Nutrient uptake, partitioning, and remobilization in modern, transgenic insect-protected maize hybrids. **Agronomy Journal**, Madison, v. 105, n. 1, p. 161-170, 2013.

BETTIOL, J. V. T.; PEDRINHO, A.; MERLOTI, L. F.; BOSSOLANI, J. W.; DE SÁ, M. E. Plantas de cobertura, utilizando *Urochloa ruziziensis* solteira e em consórcio com leguminosas e seus efeitos sobre a produtividade de sementes do feijoeiro. **Uniciências**, Cuiabá, v. 19, n. 1, 2015.

BOTTEGA, E. L.; QUEIROZ, D. M.; PINTO, F. A. C.; SOUZA, C. M. A. Variabilidade espacial de atributos do solo em sistema de semeadura direta com rotação de culturas no cerrado brasileiro. **Revista Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v. 44, n. 1, p. 1-9, 2012.

BRANCALIÃO, S.R.; AGUIAR, A.T. de E.; BRANCALIÃO, E.M.; LIMONTA, C.R.; ROSSI, C.E.; CRISTOVÃO, N.N. Produtividade e composição dos grãos de soja após o aporte de nitrogênio com o uso de culturas de cobertura em sistema de semeadura direta. **Nucleus**, Ituverava, v.12, p. 69-76, 2015.

BÜCHLING, C.; OLIVEIRA NETO, A. M. de; GUERRA, N.; BOTTEGA, E. L. Uso da plasticidade morfológica como estratégia para a redução da população de plantas em cultivares de soja. **Agrarian**, Dourados, v. 10, n. 35, p. 22-30, 2017.

CAIRES, E. F.; BANZATTO, D. A.; FONSECA, A. F. Calagem na superfície em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 24, n. 1, 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**, Viçosa, v. 27, p. 275-286, 2003.

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**, Viçosa, MG, v. 27, n. 2, p. 275-286, 2003.

CAIRES, E. F.; CHUEIRI, W. A.; MADRUGA, E. F.; FIGUEIREDO, A. Alterações de características químicas do solo e resposta da soja ao calcário e gesso aplicados na superfície em sistema de cultivo sem preparo de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 22, p. 27-34, 1998.

CAIRES, E. F.; FONSECA, A. F. Absorção de nutrientes pela soja cultivada no sistema de plantio direto em função de calagem na superfície. **Bragantia**, Campinas, v. 59, n. 2, p. 213-220, 2000.

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

CAIRES, E. F.; GARBUIO, F. J.; ALLEONI, L. R. F.; CAMBRI, M. A. Calagem superficial e cobertura de aveia preta antecedendo os cultivos de milho e soja em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 30, n. 1, p. 87-98, 2006.

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

CAIRES, E. F.; KUSMAN, M. T.; BARTH, G.; GARBUIO, F. J.; PADILHA, J. M. Alterações químicas do solo e resposta do milho à calagem e aplicação de gesso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 1, p. 125-136, 2004.

CAMARGO, O. A.; VALADARES, J. M. A. S.; DECHEN, A. R. Efeitos do pH e da incubação na extração do manganês, zinco, cobre e ferro do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 6, p. 83-88, 1982.

CAMMARANO, P.; FELSANI, A.; GENTILE, M.; GUALERZI, C.; ROMEO, A.; WOLF, G. Formation of active hybrid 80-S particles from subunits of pea seedlings and mammalian liver ribosomes. **Biochimica et Biophysica Acta**, Amsterdam, v. 281, n. 4, p. 625-642, 1972.

CARNEIRO, M. A. C.; CORDEIRO, M. A. S.; ASSIS, P. C. R.; MORAES, E. S.; PEREIRA, H. E.; PAULINO, H. B.; SOUZA, E. de. Produção de fitomassa de diferentes espécies de cobertura e suas alterações na atividade microbiana de solo de Cerrado. **Bragantia**, Campinas, v. 67, p. 455-462, 2008.

CARVALHO J. M.; ANDREOTTI, M.; BUZETTI, S.; CARVALHO, M. D. P. Produtividade de cana soca sem queima em função do uso de gesso e vinhaça. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 43, n. 1, 2013.

CARVALHO, B. V. **Efeito residual do gesso e adubação fosfatada nas culturas da braquiária e da soja**. 2017. Dissertação (Mestrado em Ciências do Solo) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2017.

CASTRO, G. S. A.; CRUSCIOL, C. A. C. Produtividade e nutrição mineral de soja, milho e capim-ruziziensis influenciados por calcário e escória de siderurgia. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 48, n. 6, p. 673-681, 2013.

CIOTTA, M. N.; BAYER, C.; ERNANI, P. R.; FONTOURA, S. M. V.; WOBETO, C.; ALBUQUERQUE, J. A. Manejo da calagem e os componentes da acidez de Latossolo Bruno em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 28, n. 2, p. 317-326, 2004.

CLARK, G.; WU, M.; WAT, N.; ONYIRIMBA, J.; PHAM, T.; HERZ, N.; BLIZARD, M. Both the stimulation and inhibition of root hair growth induced by extracellular nucleotides in Arabidopsis are mediated by nitric oxide and reactive oxygen species. **Plant molecular biology**, Dordrecht, v. 74, n. 4-5, p. 423-435, 2010.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO - CQFSRS/SC. **Manual de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. 10.ed. Porto Alegre, SBCS - Núcleo Regional Sul/UFRGS, 2004. 400 p.

Companhia Nacional de Abastecimento - CONAB. **Acompanhamento safra brasileira de grãos**, v. 4, Safra 2016/17 - Quarto levantamento, Brasília, p. 1-160, janeiro. 2017.

CONSTANTIN, J.; OLIVEIRA JÚNIOR, R. S.; CAVALIERI, S. D.; ARANTES, J. G. Z.; ALONSO, D. G.; ROSO, A. C.; COSTA, J. M. Interação entre sistemas de manejo e de controle de plantas daninhas em pós-emergência afetando o desenvolvimento e a produtividade do milho. **Planta Daninha**, Viçosa, MG, v. 25, n. 3, p. 513-520, 2007.

CORDEIRO, L. A. M. A importância da rotação de culturas para o sistema plantio direto. II Seminário sobre o sistema plantio direto na UFV. **Anais...** Viçosa, MG, p. 165-190, 1999.

COSKUN, D.; BRITTO, D. T.; SHI, W.; KRONZUCKER, H. J. Nitrogen transformations in modern agriculture and the role of biological nitrification inhibition. **Nature plants**, London, v. 3, n. 6, p. 17074, 2017.

COSTA, C. D. O.; ALVES, M. C.; de PÁDUA SOUSA, A. armazenamento de água em dois solos sob diferentes usos e manejos. **Revista de Ciências Ambientais**, Rio de Janeiro, v. 10, n. 2, p. 55-65, 2016.

COSTA, C. H. M. D.; CRUSCIOL, C. A. C.; SORATTO, R. P.; FERRARI NETO, J.; MORO, E. Nitrogen fertilization on palisadegrass: phytomass decomposition and nutrients release. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 46, n. 2, p. 159-168, 2016.

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

COSTA, N. R.; ANDREOTTI, M.; DE ARAÚJO ULIAN, N.; COSTA, B. S.; PARIZ, C. M.; CAVASANO, F. A.; FILHO, M. C. M. T. Produtividade da soja sobre palhada de forrageiras semeadas em diferentes épocas e alterações químicas no solo. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 10, n. 1, p. 8-16, 2015.

CRUSCIOL, C. A.; ARTIGIANI, A. C.; ARF, O.; CARMEIS FILHO, A. C.; SORATTO, R. P.; NASCENTE, A. S.; ALVAREZ, R. C. Soil fertility, plant nutrition, and grain yield of upland rice affected by surface application of lime, silicate, and phosphogypsum in a tropical no-till system. **Catena**, Amsterdam, v. 137, p. 87-99, 2016.

CURY, J. P.; SANTOS, J. B.; SILVA, E. B.; BYRRO, E. C. M.; BRAGA, R. R.; CARVALHO, F. P.; VALADÃO SILVA, D. Acúmulo e partição de nutrientes de cultivares de milho em competição com plantas daninhas. **Planta Daninha**, Viçosa, MG, v. 30, n. 2, p. 287-296, 2012.

DIAS, L. P. R.; GATIBONI, L. C.; BRUNETTO, G.; SIMONETE, M. A.; BICARATTO, B. Eficiência relativa de fosfatos naturais na adubação de plantio de mudas de *Eucalyptus dunnii* Maiden e *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cambage em solo sem e com calagem. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 25, n. 1, p. 37-48, 2015.

ECCO, M.; SANTIAGO, E. F.; LIMA, P. R. Respostas biométricas em plantas jovens de cana-de-açúcar submetidas ao estresse hídrico e ao alumínio. **Comunicata Scientiae**, Bom Jesus, v. 5, n. 1, p. 59, 2014.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa da Soja. **Recomendações técnicas para a cultura da soja no Paraná. 1993/94**. Londrina: OCEPAR/EMBRAPA-CNPSO, 1993. 128p. (EMBRAPA- CNPSO. Documentos, 62).

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

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Tecnologias de produção de soja - Região Central do Brasil, 2010**. Londrina: Embrapa Soja, Embrapa Cerrados, Embrapa Agropecuária Oeste, Fundação Meridional, 2010. 240 p.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A. J. **Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas**. 2.ed. Londrina, Planta, 2006. 401 p.

ERNANI, P. R. **Química do solo e disponibilidade de nutrientes**. Lages, 2008. 230 p.

FEDERAÇÃO BRASILEIRA DE PLANTIO DIRETO NA PALHA - FEBRAPDP. **Evolução do Plantio Direto no Brasil - safra 2011/12**. Foz do Iguaçu, 2017. Disponível em: <<http://www.febrapdp.org.br>>. Acesso em: 23 de jan. 2017.

FERNANDES, R. B. A.; BARRÓN, V.; TORRENT, J.; FONTES, M. P. F. Quantificação de óxidos de ferro de Latossolos brasileiros por espectroscopia de refletância difusa. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 28, n. 2, 2004.

FIORINI, I. V. A.; VON PINHO, R. G.; PEREIRA, H. D.; PIRES, L. P. M; FIORINI, F. V. A.; RESENDE, E. L. Dry matter accumulation, chlorophyll and sulfur leaf in corn fertilized with different sulfur sources. **Journal of bioenergy and food science**, Macapá, v. 4, n. 1, p. 1-11, 2017.

FLOSS, E. L. Benefícios da biomassa de aveia ao sistema de semeadura direta. **Revista Plantio Direto**, Caxias do Sul, v. 57, p. 25-29, 2000.

GARCIA, A.; PÍPOLO, A. E.; LOPES, I.; PORTUGAL, F. **A Instalação da lavoura de soja: época, cultivares, espaçamento e população de plantas**. Brasília, DF: Embrapa Soja, 2007. (Circular Técnica, 51)

GEMELLI, A.; OLIVEIRA JUNIOR, R. S. de; CONSTANTIN, J.; BRAZ, G. B. P.; CAMPOS JUMES, T. M. de; OLIVEIRA NETO, A. M. de; BIFFE, D. F. Aspectos da biologia de *Digitaria insularis* resistente ao glyphosate e implicações para o seu controle. **Revista Brasileira de Herbicidas**, Londrina, v. 11, n. 2, p. 231-240, 2012.

GONÇALVES J. R. P.; MOREIRA A.; BÜLL L. T.; CRUSCIOL C. A. C.; VILLAS BOAS R. L. Granulometria e doses de calcário em diferentes sistemas de manejo. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 33, n. 2, 2011.

HANSEL, F. D.; OLIVEIRA, M. L. de. Importância dos micronutrientes na cultura da soja no Brasil. **Informações Agronômicas**, Peachtree Corners, n. 153, p. 1-21, 2016.

HARASIM, E.; GAWEDA, D.; WESOŁOWSKI, M.; KWIATKOWSKI, C.; GOCOL, M. Cover cropping influences physico-chemical soil properties under direct drilling soybean. **Acta Agriculturae Scandinavica**, Copenhagen, v. 66, p. 85-94, 2016.

HARMSSEN, K.; VLEK, P. L. G. The chemistry of micronutrients in soil. **Fertilizer Research**, Dordrecht, v. 7, p. 1-42, 1985.

JONES, N. Grass gets greener: plant secretion curbs greenhouse-gas emissions from soil. **Nature**, London, v. 501, n. 7467, p. 291-292, 2013.

JÚNIOR, G.; ALVES, M. P.; SANTOS A. C. D.; ARAÚJO A. D. S.; OLIVEIRA L. B. T. D.; RODRIGUES M. O. D.; MARTINS A. D. Calcium: magnesium ratio amendments of soil acidity and agronomy characteristics of forage specie. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, Salvador, v. 14, n. 3, p. 460-471, 2013.

KARWAT, H.; MORETA, D.; ARANGO, J.; NÚÑEZ, J.; R. A. O, I.; RINCÓN, Á; RASCHE, F.; CADISCH, G. Residual effect of BNI by *Brachiaria humidicola* pasture on nitrogen recovery and grain yield of subsequent maize. **Plant and Soil**, The Hague, v. 420, n. 1-2, p. 389-406, 2017.

LAVIOLA, B. G.; MARTINEZ, H. E. P.; SOUZA, R. B.; VENEGAS, V. H. A. Dinâmica de cálcio e magnésio em folhas e frutos de *Coffea arabica*. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 31, n. 2, p. 319-329, 2007.

LAVRES JUNIOR, J.; FERREIRA MORAES, M.; PEREIRA CABRAL, C.; MALAVOLTA, E. influência genotípica na absorção e na toxidez de manganês em soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 32, n. 1, 2008.

LAVRES JUNIOR, J.; MALAVOLTA, E.; NOGUEIRA, N. D. L.; MORAES, M. F.; REIS, A. R.; ROSSI, M. L.; CABRAL, C. P. Changes in anatomy and root cell ultrastructure of soybean genotypes under manganese stress. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 33, n. 2, p. 395-403, 2009.

LEPSCH, I. F. **Formação e conservação dos solos**. Oficina de textos, 2010. 216 p.

LIMA, E. V. **Plantas de cobertura e calagem superficial na fase de implantação do sistema de plantio direto em região de inverno seco**. 2004. 125 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2004.

LINDSAY, W. **Chemical equilibria in soil**. New York: John Wiley & Sons, 1979. 449p.
LOPES, S. J.; LÚCIO, A. D.; STORCK, L.; DAMO, H. P.; BRUM, B.; SANTOS, V. J. Relações de causa e efeito em espigas de milho relacionadas ao tipo de híbrido. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 37, n. 6, p. 1536-1542, 2007.

MACHADO, P. L. O. de A. **Considerações gerais sobre a toxicidade de alumínio nas plantas**. Rio de Janeiro: Embrapa-CNPS, 1997. 22 p. (Documentos, 2).

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 319 p.

MARAL, A. S.; ANGHINONI, I.; DESCHAMPS, F. C. Resíduos de plantas de cobertura e do calcário aplicado na superfície do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.28, n.1, p.115-123, 2004.

MARCATTO, F. S.; SILVEIRA, H. Relação entre as propriedades físico-hídricas dos solos e os tipos de uso da terra como subsídio ao manejo e conservação do solo e da água na bacia hidrográfica do rio Pirapó-PR. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 9, n. 6, p. 1769-1783, 2016.

MARSCHNER, P. **Mineral nutrition of higher plants**. 3. ed. New York: Elsevier, 2012. 651 p.

MASCARENHAS, H. A. A.; FÁTIMA ESTEVES, J. A. DE; WUTKE, E. B.; GALLO, P. B. Micronutrientes em soja no estado de São Paulo. **Nucleus**, Ituverava, v. 11, n. 1, 2014.

MASCHIETTO, E. H. G. **Gesso agrícola na produção de milho e soja em solo de alta fertilidade e baixa acidez em subsuperfície em plantio direto**. 2009. 56 f. Dissertação (Mestrado em Agricultura) - Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2009.

MATOS, J. L.; FIORI, C. S.; SILVA-FILHO, M. C.; MOURA, D. S. A. Conserved dibasic site is essential for correct processing of the peptide hormone AtRALF1 in *Arabidopsis thaliana*. **FEBS letters**, Amsterdam, v. 582, n. 23-24, p. 3343-3347, 2008.

MAUAD, M.; SILVA, T. L. B.; ALMEIDA NETO, A. I.; ABREU, V. G. Influência da densidade de semeadura sobre as características agrônômicas na cultura da soja. **Agrarian**, Dourados, v. 3, n. 9, p. 175-181, 2010.

MELO, C. A. D.; GUIMARÃES, F. A. R.; GONÇALVES, V. A.; BENEVENUTE, S. S.; FERREIRA, G. L.; FERREIRA, L. R.; FERREIRA, F. A. Acúmulo de macronutrientes por plantas daninhas e de milho cultivadas em convivência em solo com diferentes manejos de fertilidade. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 36, n. 2, p. 669-682, 2015.

MENDES, W. M. da; JÚNIOR, J. A.; CUNHA, P. C. R.; SILVA, A. R. da; EVANGELISTA, A. W. P.; CASAROLI, D. Lixiviação de nitrato em função de lâminas de irrigação em solos argiloso e arenoso. **Irriga**, Botucatu, v. 1, n. 2, p. 47, 2015.

MIRANDA, L. N.; MIRANDA, J. C. C.; REIN T. A. Utilização de calcário em plantio direto e convencional de soja e milho em Latossolo Vermelho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 40, n. 6, p. 563-572, 2005.

MIYAZAWA, M.; CHIERICE, G.O.; PAVAN, M.A. Amenização da toxicidade de alumínio as raízes do trigo pela complexação com ácidos orgânicos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 16, p.209-215, 1992.

MIYAZAWA, M.; PAVAN, M. A.; FRANCHINI, J. C. Neutralização da acidez do perfil do solo por resíduos vegetais. **Informações Agrônômicas**, Piracicaba, n. 92, 2000. 8 p. (Encarte técnico)

- MIYAZAWA, M.; PAVAN, M.A; FRANCHINI, J. C. Evaluation of plant residues on the mobility os surfasse applied lime. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, Curitiba, v. 45, n. 3, p. 251-256, 2002.
- NAKAO, A. H.; de PASSOS, M.; SOUZA, F. H.; da CRUZ, S. S.; MONTANARI, R. Rotação e sucessão de culturas como práticas de conservação do solo no município de Jales, SP. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, Brasília, DF, v. 32, n. 1/2, p. 152-166, 2016.
- NASCIMENTO, R.; DEUNER, S.; SOARES FERREIRA, L.; BADINELLI, P. G.; SILVA KERBER, R. Crescimento e teores de clorofila e carotenóides em três cultivares de soja em função da adubação com magnésio. **Revista Ceres**, Viçosa, MG, v. 56, n. 3, p. 364-369, 2009.
- NEPOMUCENO, M.; ALVES, P. L. C. A.; DIAS, T. C. S.; PAVANI, M. C. M. D. Períodos de interferência das plantas daninhas na cultura da soja nos sistemas de semeadura direta e convencional. **Planta Daninha**, Viçosa, MG, v. 25, n. 1, p. 43-50, 2007.
- NOGUEIRA, K. B.; ROQUE, C. G.; BORGES, M. C. R. Z.; TROLEIS, M. J. B.; BARRETO, R. F.; Oliveira, M. P. Atributos físicos do solo e matéria orgânica sob dois manejos e efeito residual da aplicação de calcário e gesso agrícola. **Revista de la Facultad de Agronomía**, Maracaibo, v. 115, n.1, p.45-54, 2016.
- NOGUEIRA, M. A.; MELO, W. J. Enxofre disponível para a soja e atividade de arilsulfatase em solo tratado com gesso agrícola. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 27, n. 4, 2003.
- NOGUEIRA, M. A.; MELO, W. J. Enxofre disponível para asoja e atividade de arilsulfatase em solo tratado com gesso agrícola. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 27, n. 4, p. 655-663, 2003.
- NUNES, F. N.; NOVAIS, R. F.; SILVA, I. R.; GEBRIM, F. O.; SÃO JOSÉ, J. F. B. Fluxo difusivo de ferro em solos sob influência de doses de fósforo e de níveis de acidez e umidade. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, n. 3, p. 423-429, 2004.
- OATES, K. M., CALDWELL, A. G. Use of by-product gypsum to alleviate soil acidity. **Soil Science Society of America Journal**, Madson, v. 49, n. 4, p. 915-918, 1985.
- OLIVEIRA, E. L.; PAVAN, M. A. Control of soil acidity in no-tillage system for soybean production. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 38, p. 47-57, 1996.
- PACHECO, L. P.; SÃO MIGUEL, A. S. D. C.; DA SILVA, R. G.; SOUZA, E. D. de; PETTER, F. A.; KAPPES, C. Produção de fitomassa em sistemas de produção de soja em sucessão a culturas e plantas de cobertura. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 52, n. 8, p. 582-591, 2017.
- PANDOLFO, C. M.; CERETTA, C. A.; MASSIGNAM, A. M.; VEIGA, M. D.; MOREIRA, C. L. Análise ambiental do uso de fontes de nutrientes associadas a sistemas de manejo do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**, Campina Grande, v. 12, p. 543-550, 2008.

- PAULETTI, V.; de PIERRI, L.; RANZAN, T.; BARTH, G.; VARGAS MOTTA, A. C. Efeitos em longo prazo da aplicação de gesso e calcário no sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 38, n. 2, p. 495-505, 2014.
- PAVAN, M. A.; BINGHAM, F. T.; PRATT, P. F. Redistribution of exchangeable calcium, magnesium, and aluminum following lime and gypsum applications to a Brazilian Oxisol. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 48, n. 1, p. 33-38, 1984.
- PEGORARO, R. F.; SILVA, I. D.; NOVAIS, R. F.; MENDONÇA, E. D. S.; GEBRIM, F. D. O.; MOREIRA, F. F. Fluxo difusivo e biodisponibilidade de zinco, cobre, ferro e manganês no solo: influência da calagem, textura do solo e resíduos vegetais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 30, n. 5, p. 859-868, 2006.
- PLATTNER, H.; VERKHRATSKY, A. The ancient roots of calcium signalling evolutionary tree. **Cell Calcium**, Edinburgh, v. 57, n. 3, p. 123-132, 2015.
- PORTUGAL, J. R.; PERES, A. R.; RODRIGUES, R. A. F. Aspectos climáticos no feijoeiro. In: ARF O.; LEMOS L. B.; SORATTO R. P.; FERRARI S. (Eds.) **Aspectos gerais da cultura do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.)**. Botucatu: FEPAF, 2015. p. 65-75.
- PRADO, R. M.; NATALE, W. Calagem na nutrição de cálcio no desenvolvimento do sistema radicular da goiabeira. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 39, n. 10, p. 1007-1012, 2004.
- QUAGGIO, J. A.; DECHEN, A. R.; RAIJ, B. V. Efeito da aplicação de calcário e gesso sobre a produção de amendoim e lixiviação de bases no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 6, p. 189-194, 1982.
- QUAGGIO, J. A.; RAIJ, B. V.; GALLO, P. B.; MASCARENHAS, H. A. A. Respostas da soja à aplicação de calcário e gesso e lixiviação de íons no perfil do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 28, n. 3, p. 375-383, 1993.
- QUAGGIO, J.A. **Acidez e calagem em solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônômico, 2000. 111 p.
- RAIJ, B. V. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba: Ceres; POTAFOS, 1991. 343p.
- RAIJ, B.V. **Fertilidade do solo e manejo de nutrientes**. Piracicaba: IPNI, 2011. 420 p.
- RAIJ, B.V.; CANTARELA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2. ed. Campinas: Instituto Agrônômico e Fundação IAC, 1996. 285 p. (Boletim técnico, 100).
- REEVE, N.G.; SUMNER, M.E. Amelioration of subsoil acidity in Natal Oxisols by leaching of surface-applied amendments. **Agrochimica**, Pretoria, v.4, p.1-6, 1972.

RELLÁN-ÁLVAREZ, R.; LÓPEZ-GOMOLLÓN, S.; ABADÍA, J.; ÁLVAREZ FERNÁNDEZ, A. Development of a new high-performance liquid chromatography–electrospray ionization time-of-flight mass spectrometry method for the determination of low molecular mass organic acids in plant tissue extracts. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 59, n. 13, p. 6864-6870, 2011.

RESENDE, A. V.; COELHO, A. M.; SANTOS, F. C.; LACERDA, J. J. J. **Fertilidade do solo e manejo da adubação NPK para alta produtividade de milho no Brasil Central**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2012. 12 p. (Circular Técnica, 181).

RHEINHEIMER, D. S.; SANTOS, E. J. S.; KAMINSKI, J.; BORTOLUZZI, E. C.; GATIBONI, L. C. Alterações de atributos do solo pela calagem superficial e incorporada a partir de pastagem natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 24, p. 797-805, 2000.

RHEINHEIMER, D.; ALVAREZ, J. W. R.; FILHO, B. D. O.; SILVA, L. S.; BORTOLUZZI, E. C. Resposta de culturas à aplicação de enxofre e a teores de sulfatos em solo de textura arenosa sob plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 35, n. 3, p. 562-569, 2005.

RONCHI, C. P.; TERRA, A. A.; SILVA, A. A.; FERREIRA, L. R. Acúmulo de nutrientes pelo cafeeiro sob interferência de plantas daninhas. **Planta Daninha**, Viçosa, MG, v. 21, n. 2, p. 219-227, 2003.

ROSA JUNIOR, E. J.; GONÇALVES MARTINS, R. M.; ROSA, Y. B. C. J.; CREMON, C. Calcário e gesso como condicionantes físico e químico de um solo de cerrado sob três sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 36, n. 1, 2006.

ROSOLEM, C. A.; CALONEGO, J. C.; FOLONI, J. S. S. Potássio lixiviado da palha de aveia preta e milho após a dessecação química. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 42, p. 1169-1175, 2007.

ROSOLEM, C. A.; FOLONI, J. S. S.; OLIVEIRA, R. H. Dinâmica do nitrogênio no solo em razão da calagem e adubação nitrogenada, com palha na superfície. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 38, n. 2, p. 301-309, 2003.

SÁ, J. C. M.; SÉGUY, L.; TIVET, F.; LAL, R.; BOUZINAC, S.; BORSZOWSKI, P. R.; BRIEDIS, C.; SANTOS, J. B.; HARTMAN, D. C.; BERTOLONI, C. G.; ROSA, J.; FRIEDRICH, T. Carbon depletion by plowing and its restoration by no-till cropping systems in oxisols of subtropical and tropical agro-ecoregions in Brazil. **Land Degradation & Development**, Chichester, v. 26, n. 6, p. 531-543, 2015.

SÁ, J., CERRI, C. C., VENZKE-FILHO, S. P., PICCOLO, M. C., FEIGL, B. E., FELLER, C. Palha: a base de sustentação do plantio direto. **Plantio Direto**, Passo Fundo, n. 74, p. 29-32, 2003.

SANGOI, L.; ALMEIDA, M. L. D.; SILVA, P. R. F. D.; ARGENTA, G. Bases morfofisiológicas para maior tolerância dos híbridos modernos de milho a altas densidades de plantas. **Bragantia**, Campinas, v. 61, n. 2, p. 101-110, 2002.

SANTOS, J. B.; CURY, J. P. Picão-preto: uma planta daninha especial em solos tropicais. **Planta Daninha**, Viçosa, MG, v. 29, p. 1159-1171, 2011. Número Especial.

SEDIYAMA, T.; SILVA, F.; BOREM, A. **Soja**: do plantio à colheita. Viçosa: UFV, 2015.

SILVA, M. R.; PELISSARI, A.; MORAES, A. D.; SANDINI, I. E.; CASSOL, L. C.; ASSMANN, T. S.; OLIVEIRA, E. B. Acumulação de nutrientes e produção forrageira de aveia e azevém em função da aplicação de calcário e gesso em superfície. **Revista de Ciências Agrárias**, Fortaleza, v. 38, n. 3, p. 346-356, 2015.

SILVA, W. B.; BARCELOS, F. P. de.; SICHOCKI, D.; SILVA, G. M. C. Uso do silicato de cálcio na correção da acidez do solo e no desenvolvimento da *Brachiaria ruziziensis* L. **Perspectivas: Exatas & Engenharia**, Campos Dos Goytacazes, v. 4, n. 10, p. 1-11, 2015.

SORATTO, R. P. **Aplicação de calcário e gesso em superfície na implantação do sistema de plantio direto**. 2005. 173 f. Tese de Doutorado - Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2005.

SORATTO, R. P.; CRUSCIOL, C. A. C. Atributos químicos do solo decorrentes da aplicação em superfície de calcário e gesso em sistema plantio direto recém-implantado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 2, p. 675-688, 2008.

SORATTO, R. P.; CRUSCIOL, C. A. C.; MELLO, F. F. C. Componentes da produção e produtividade de cultivares de arroz e feijão em função de calcário e gesso aplicados na superfície do solo. **Bragantia**, Campinas, v. 69, n. 4, p. 965-974, 2010.

SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E.; REIN, T. A. **Uso do gesso agrícola nos solos dos Cerrados**. Planaltina: EMBRAPA-CPAC, 1996. 20p. (Circular Técnica, 32).

STIPP, S. R.; CASARIN, V. A importância do enxofre na agricultura brasileira. **Informações agronômicas**, Curitiba, v. 129, p. 14-20, 2010.

SUBBARAO, G. V.; NAKAHARA, K.; HURTADO, M. D. P.; ONO, H., MORETA de; SALCEDO, A. F.; YOSHIDA, M. Evidence for biological nitrification inhibition in *Brachiaria* pastures. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, Washington, v. 106, n. 41, p. 17302-17307, 2009.

SUBBARAO, G. V.; YOSHIHASHI, T.; WORTHINGTON, M.; NAKAHARA, K.; ANDO, Y.; SAHRAWAT, K. L.; IDUPULAPATI M. R.; JEAN, C. L.; MASAHIRO K.; HANS J. B.; BRAUN H. J. Suppression of soil nitrification by plants. **Plant Science**, Limerick, v. 233, p. 155-164, 2015.

SUMNER, M. E.; FARINA, P. M. W.; HORST, V. J. Magnesium fixation: a possible cause of negative yield responses to lime applications. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 9, p. 955-1007, 1978.

TANAKA, K.; GILROY, S.; JONES, A. M.; STACEY, G. Extracellular ATP signaling in plants. **Trends in cell biology**, Cambridge, v. 20, n. 10, p. 601-608, 2010.

TANAKA, K.; NGUYEN, C. T.; LIBAULT, M.; CHENG, J.; STACEY, G. Enzymatic activity of the soybean ecto-apyrase GS52 is essential for stimulation of nodulation. **Plant Physiology**, Bethesda, v. 155, n. 4, p. 1988-1998, 2011.

TOSCANI, R. G. S.; CAMPOS J. E. G. Uso de pó de basalto e rocha fosfatada como fertilizante natural em solos lixiviados. **Geociências**, São Paulo, v. 36, n. 2, p. 259-274, 2017.

van HEES, P. A. W.; VINOGRADOFF, A. C.; EDWARDS, A. C.; GODBOLD, D. L.; JONES, D. L. Low molecular weight organic acid adsorption in forest soils: Effects on soil solution concentrations and biodegradation rates. **Soil Biology and Biochemistry**, Elmsford, v. 35, n. 8, p. 1015-1026, 2003.

VIANA, J. S.; BARBOSA, J. G.; SILVA, J. A.; BRITO, T. R. C.; BADJI, C. A. Integração soja e pastagem: Uma revisão de literatura. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, Pombal, v. 10, n. 5, p. 71-75, 2015.

VITTI, G. C.; FAVARIN, J. L.; GALLO, L. A.; STEFANO PIEDADE, S. M.; FARIA, M. R. M. de; CICARONE, F. Assimilação foliar de enxofre elementar pela soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 42, n. 2, p. 225-229, 2007.

VON PINHO, R. G.; BORGES I. D.; PEREIRA J. L. A. R.; REIS M. C. D. Marcha de absorção de macronutrientes e acúmulo de matéria seca em milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Brasília, DF, v. 8, n. 2, 2010.

WANG S.; ZHAO S. X.; WEI C. L.; YU S. Y.; SHI J. P.; ZHANG B. G. Effect of magnesium deficiency on photosynthetic physiology and triacylglyceride (TAG) accumulation of *Chlorella vulgaris*. **Chinese Journal of Environmental Science**, Beijing, v. 35, n. 4, p. 1462-1467, 2014.

WENDLING, A.; ELTZ, F. L. F.; CUBILLA, M. M.; AMADO, T. J. C.; MIELNICZUK, J. Recomendação de adubação potássica para trigo, milho e soja sob sistema plantio direto no Paraguai. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 32, p. 1929-1939, 2008.

YAMAMOTO, E. L. M.; FERREIRA, R. M. A.; FERNANDES, P. L. O.; ALBUQUERQUE, L.B.; ALVES, E.O. Função do cálcio na degradação da parede celular vegetal de frutos. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, Pombal, v. 6, n. 49-55, 2011.

ZAMBROSI, F. C. B.; ALLEONIII, L. R. F.; CAIRES, E. F. Aplicação de gesso agrícola e especiação iônica da solução de um Latossolo sob sistema plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 37, n. 1, p. 110-117, 2007.

ZANDONÁ R. R.; BEUTLER N.A.; BURG G.M.; FARIAS BARRETO C.; SCHMIDT M.R. Gesso e calcário aumentam a produtividade e amenizam o efeito do déficit hídrico em milho e soja. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 45, n. 2, p. 128-137, 2015.