



**PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
DOUTORADO EM AGRONOMIA**

LUANDA TORQUATO FEBA

**CALAGEM E GESSAGEM SUPERFICIAL EM SOLOS ARENOSOS EM SISTEMA
PLANTIO DIRETO**

Presidente Prudente – SP
2020



**PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
DOUTORADO EM AGRONOMIA**

LUANDA TORQUATO FEBA

**CALAGEM E GESSAGEM SUPERFICIAL EM SOLOS ARENOSOS EM SISTEMA
PLANTIO DIRETO**

Tese apresentada à Pró-reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação, Universidade do Oeste Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do título de doutorado – Área de concentração: Produção Vegetal.

Orientador:
Carlos Sérgio Tiritan

Presidente Prudente – SP
2020

631.8
F289c

Feba, Luanda Torquato.

Calagem e gessagem superficial em solos arenosos em sistema plantio direto / Luanda Torquato Feba. – Presidente Prudente, 2020.

81 f.: il.

Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade do Oeste Paulista – Unoeste, Presidente Prudente, SP, 2020.

Bibliografia.

Orientador: Carlos Sérgio Tiritan.

1. Acidificação. 2. Condicionamento do solo. 3. Correção do solo. 4. Movimentação de íons. I. Título.

Catálogo na Fonte: Karla Barbosa – CRB 8/37050

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: "CALAGEM E GESSAGEM SUPERFICIAL EM SOLOS ARENOSOS EM SISTEMA PLANTIO DIRETO"

AUTOR(A): LUANDA TORQUATO FEBA

ORIENTADOR(A): CARLOS SÉRGIO TIRITAN

Aprovado(a) como parte das exigências para obtenção do título de DOUTOR em AGRONOMIA

Área de Concentração PRODUÇÃO VEGETAL, pela Comissão Examinadora:

Dr. Carlos Sérgio Tiritan



UNOESTE – Universidade do Oeste Paulista / Presidente Prudente (SP)

Dr. Diego Henrique dos Santos

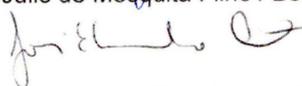
CDRS - Coordenadoria de Desenvolvimento Rural Sustentável / Presidente Prudente (SP)

Dr. Hélio Grassi Filho



Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho / Botucatu (SP)

Dr. José Eduardo Creste



UNOESTE – Universidade do Oeste Paulista / Presidente Prudente (SP)

Dr. Tiago Aranda Catuchi



UNOESTE – Universidade do Oeste Paulista / Presidente Prudente (SP)

Presidente Prudente, 28 de Setembro de 2020.

DEDICATÓRIA

*Dedico esse trabalho a minha mãe, **Lucilene Favareto Torquato Feba**, que é meu grande exemplo de perseverança pessoal e profissional, incentivadora excepcional na minha carreira acadêmica.*

A minha avó, Lourdes Favareto Torquato, ao meu pai Lulz Napoleão Feba Sorgi, ao meu irmão Luís Gustavo Torquato Feba e ao meu noivo Eduardo Bassanezi Gasparim, pela força durante a luta dessa conquista.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus por nunca me desamparar e sempre me proporcionar força para que eu nunca desistisse dos meus sonhos.

*A minha avó **Lourdes F. Torquato** que sempre me aconselhou a seguir em frente com meus sonhos e jamais desistir.*

*Aos meus pais **Luiz N Feba Sorgi e Lucilene F Torquato Feba** que sempre me apoiaram nessa minha caminhada acadêmica e não mediram esforços para que eu pudesse alcançar os meus objetivos.*

*Ao meu irmão **Luis Gustavo Torquato Feba**.*

*Ao meu noivo grande amigo e companheiro **Eduardo Bassanezi Gasparim**.*

A todos da minha família e amigos pelo apoio na realização deste trabalho.

*Ao professor **Dr. Carlos Henrique do Santos** pela inestimável contribuição científica e intelectual, sempre dedicado e pronto para compartilhar seus conhecimentos, orientador **Dr. Carlos S. Tiritan** e ao professor **Dr. Edegar Moro**.*

A todos os professores e funcionários da Unoeste, pelo apoio e ensino de qualidade.

Aos colegas do Grupo de Pesquisa Agropecuária do Oeste Paulista - GPAGRO pelo companheirismo e momentos de alegria compartilhados.

A Capes, pelo apoio financeiro, no qual possibilitou a execução do trabalho.

*Aos estagiários e amigos **Aline Saraiva, Maik Sergio e Everton**, os quais desenvolveram um trabalho com seriedade e comprometimento, além de sempre estarem dispostos a contribuir no auxílio dessa pesquisa.*

“No meio da dificuldade encontra-se a oportunidade”.

(Albert Einstein)

RESUMO

Ação residual e interação entre calagem e gessagem superficial na fertilidade de um solo arenoso e no estado nutricional da soja

A calagem e gessagem superficial é uma excelente opção de correção sem que ocorra a modificação do sistema, por permitir a movimentação do corretivo para as camadas mais profundas do solo. Dessa forma, a melhoria das características químicas do solo, em profundidade, decorrentes da calagem superficial será proporcional a dose utilizada do corretivo. O objetivo do trabalho foi avaliar a disponibilidade da fertilidade de um solo arenoso no sistema, diante da aplicação de doses de calcário dolomítico na ausência e na presença de gesso como condicionador de subsuperfície. O experimento foi conduzido, na Fazenda Experimental da Universidade do Oeste Paulista - Unoeste, em Presidente Bernardes-SP, em um solo classificado como ARGISSOLO Vermelho distrófico com relevo suave ondulado. O experimento foi estruturado de acordo com o delineamento experimental em faixas com parcelas subdivididas, em esquema fatorial 4x2, com três repetições, sendo as parcelas constituídas por quatro doses de calcário (0, 2, 4 e 8 Mg ha⁻¹) e as subparcelas pelas doses de gesso agrícola (0 e 4 Mg ha⁻¹). As parcelas e as subparcelas compreenderam uma área de 400 m² e 200 m², respectivamente, e receberam em 2014 a aplicação única e superficial do calcário dolomítico (CaO - 36%, MgO 15,8% e PRNT 90%), com e sem gesso agrícola (CaSO₄) que é uma excelente fonte de Ca - 20% e S - 16%. Foram avaliados: análise química do solo, tecido vegetal da soja e produtividade da soja. Os dados foram submetidos à análise de variância e, em caso de efeito significativo para doses de calcário e gesso, foi realizada a análise de regressão (linear ou polinomial) para verificar o efeito das doses de calcário em superfície. Já no caso de efeito significativo para as doses de gesso superficial, os dados foram comparados pelo teste de Tukey (P≤0,05), por meio do software Sisvar. Concluiu-se que a dose de 4 Mg ha⁻¹ de calcário dolomítico manteve a saturação por bases próxima a 60% e o Mg²⁺ acima do nível crítico para cultura. O gesso agrícola contribuiu com o aumento dos teores de Ca²⁺ e Mg²⁺ até 0,40 m de profundidade. Houve maior movimentação de K⁺ e SO₄²⁻ no perfil do solo em decorrência do aumento das doses de calcário na presença de gessagem. Foi observada a ação residual do calcário e do gesso no decorrer dos anos de manejo. Apesar das melhorias na fertilidade do solo, a calagem e a gessagem não promoveram ganhos significativos na produtividade da soja.

Palavras-chave: Acidificação. Condicionamento do solo. Correção do solo. Movimentação de íons.

ABSTRACT

Residual action and interaction between limestone and surface gypsum on the fertility of a sandy soil and on the nutritional status of soybeans

Limestone and surface gypsum is an excellent correction option without modifying the system, as it allows the movement of the corrective to the deeper layers of the soil. In this way, the improvement of the chemical characteristics of the soil, in depth, resulting from the surface limestone will be proportional to the used dose of the corrective. The objective of the work was to evaluate the availability of the fertility of a sandy soil in the system, in view of the application of doses of dolomitic limestone in the absence and presence of gypsum as a subsurface conditioner. The experiment was carried out, at the Experimental Farm of the Universidade do Oeste Paulista - Unoeste, in Presidente Bernardes-SP, on a soil classified as dystrophic Red ARGISOLO with smooth wavy relief. The experiment was structured according to the experimental design in bands with subdivided plots, in a 4x2 factorial scheme, with three replications, with the plots consisting of four limestone doses (0, 2, 4 and 8 Mg ha⁻¹) and the subplots by doses of agricultural gypsum (0 and 4 Mg ha⁻¹). The plots and subplots comprised an area of 400 m² and 200 m², respectively, and in 2014 received the unique and superficial application of dolomitic limestone (CaO - 36%, MgO 15.8% and PRNT 90%), with and without plaster. (CaSO₄) which is an excellent source of Ca - 20% and S - 16%. The following were evaluated: chemical analysis of the soil, soybean plant tissue and soybean yield. The data were subjected to analysis of variance and, in case of significant effect for limestone and plaster doses, regression analysis (linear or polynomial) was performed to verify the effect of limestone doses on the surface. In the case of a significant effect for the doses of superficial gypsum, the data were compared using the Tukey test (P≤0.05), using the Sisvar software. It was concluded that the dose of 4 Mg ha⁻¹ of dolomitic limestone maintained base saturation close to 60% and Mg²⁺ above the critical level for culture. Agricultural gypsum contributed to the increase in the levels of Ca²⁺ and Mg²⁺ up to 0.40 m in depth. There was a greater movement of K⁺ and SO₄²⁻ in the soil profile due to the increase in limestone doses in the presence of gypsum. The residual action of limestone and gypsum was observed over the years of management. Despite improvements in soil fertility, limestone and gypsum did not promote significant gains in soybean yield.

Key-words: Acidification. Movement of ions. Soil conditioning. Soil correction. Ion movement.

LISTA DE SIGLAS

cm	– Centímetro
C/N	– Relação Carbono/Nitrogênio
CTC	– Capacidade de Troca de Cátions
°C	– Graus Celsius
dm	– Decímetro
dm ⁻³	– Decímetro Cúbico
EMBRAPA	– Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
g	– Grama
ha ⁻¹	– Hectare
kg ⁻¹	– Kilograma
L	– Litro
Mg	– Mega Grama
m	– Metro
m%	– Porcentagem de Saturação por Alumínio
m ²	– Metro Quadrado
m ³	– Metro Cúbico
ml	– Mililitro
mm	– Milímetro
mmol _c	– Milimol carga
mg	– Miligrama
MO	– Matéria Orgânica
N	– Nitrogênio
pH	– Potencial Hidrogeniônico
SPD	– Sistema Plantio Direto
UNOESTE	– Universidade do Oeste Paulista
V%	– Saturação por bases
%	– Porcentagem

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -	Gráfico da pluviosidade do experimento durante os anos 2016, 2017 e 2018.....	30
Figura 2 -	Área experimental do trabalho (2016)	30
Figura 3 -	Croqui da área experimental.....	31
Figura 4 -	Material utilizado na coleta das amostras de solo, com suas respectivas profundidades.....	35
Figura 5 -	Coleta de amostras de solo com a sonda.....	36
Figura 6 -	Solo coletado e colocados nos respectivos baldes para homogeneização.....	37
Figura 7 -	Peneira usada na maceração do solo foi de 2 mm.....	37
Figura 8 -	Material usado no preparo do solo para que em seguida fosse analisado pelo laboratório.....	38
Figura 9 -	Amostras de tecido vegetal da soja para análise.....	39
Figura 10 -	Semeadura e germinação da soja.....	40
Figura 11 -	Produtividade da soja.....	41
Figura 12 -	Colheita da soja.....	42
Figura 13 -	Análise química do pH do solo em amostras coletadas em 2016 (a), 2017 (b) e 2018 (c) na camada de 0,00 a 0,10 m de um ARGISSOLO Vermelho distrófico, em função de doses de calcário aplicadas superficialmente em janeiro/2014.....	44
Figura 14 -	Análise química do pH do solo em amostras coletadas em 2016 (a), 2017 (b) e 2018 (c) na camada de 0,10 a 0,20 m de um ARGISSOLO Vermelho distrófico, em função de doses de calcário aplicadas superficialmente em janeiro/2014.....	45
Figura 15 -	Análise química do pH do solo em amostras coletadas em 2016 (a), 2017 (b) e 2018 (c) na camada de 0,20 a 0,40 m de um ARGISSOLO Vermelho distrófico, em função de doses de calcário aplicadas superficialmente em janeiro/2014.....	45
Figura 16 -	Análise química do pH do solo em amostras coletadas em 2016 (a), 2017 (b) e 2018 (c) na camada de 0,40 a 0,60 m de um ARGISSOLO Vermelho distrófico, em função de doses de calcário aplicadas superficialmente em janeiro/2014.....	45
Figura 17 -	Análise química da Al^{+3} do solo em amostras coletadas em 2016 (a), 2017 (b) e 2018 (c) na camada de 0,00 a 0,10 m de um ARGISSOLO Vermelho distrófico, em função de doses de calcário aplicadas superficialmente em janeiro/2014.....	47

Figura 18 -	Análise química da Al^{+3} do solo em amostras coletadas em 2016 (a), 2017 (b) e 2018 (c) na camada de 0,10 a 0,20 m de um ARGISSOLO Vermelho distrófico, em função de doses de calcário aplicadas superficialmente em janeiro/2014.....	47
Figura 19 -	Análise química da Al^{+3} do solo em amostras coletadas em 2016 (a), 2017 (b) e 2018 (c) na camada de 0,20 a 0,40 m de um ARGISSOLO Vermelho distrófico, em função de doses de calcário aplicadas superficialmente em janeiro/2014.....	48
Figura 20 -	Análise química da Al^{+3} do solo em amostras coletadas em 2016 (a), 2017 (b) e 2018 (c) na camada de 0,40 a 0,60 m de um ARGISSOLO Vermelho distrófico, em função de doses de calcário aplicadas superficialmente em janeiro/2014.....	48
Figura 21 -	Análise química do Ca^{2+} do solo em amostras coletadas em 2016 (a), 2017 (b) e 2018 (c) na camada de 0,00 a 0,10 m de um ARGISSOLO Vermelho distrófico, em função de doses de calcário aplicadas superficialmente em janeiro/2014.....	50
Figura 22 -	Análise química do Ca^{2+} do solo em amostras coletadas em 2016 (a), 2017 (b) e 2018 (c) na camada de 0,10 a 0,20 m de um ARGISSOLO Vermelho distrófico, em função de doses de calcário aplicadas superficialmente em janeiro/2014.....	50
Figura 23 -	Análise química do Ca^{2+} do solo em amostras coletadas em 2016 (a), 2017 (b) e 2018 (c) na camada de 0,20 a 0,40 m de um ARGISSOLO Vermelho distrófico, em função de doses de calcário aplicadas superficialmente em janeiro/2014.....	51
Figura 24 -	Análise química do Ca^{2+} do solo em amostras coletadas em 2016 (a), 2017 (b) e 2018 (c) na camada de 0,40 a 0,60 m de um ARGISSOLO Vermelho distrófico, em função de doses de calcário aplicadas superficialmente em janeiro/2014.....	52
Figura 25 -	Análise química do Mg^{2+} do solo em amostras coletadas em 2016 (a), 2017 (b) e 2018 (c) na camada de 0,00 a 0,10 m de um ARGISSOLO Vermelho distrófico, em função de doses de calcário aplicadas superficialmente em janeiro/2014.....	53
Figura 26 -	Análise química do Mg^{2+} do solo em amostras coletadas em 2016 (a), 2017 (b) e 2018 (c) na camada de 0,10 a 0,20 m de um ARGISSOLO Vermelho distrófico, em função de doses de calcário aplicadas superficialmente em janeiro/2014.....	54
Figura 27 -	Análise química do Mg^{2+} do solo em amostras coletadas em 2016 (a), 2017 (b) e 2018 (c) na camada de 0,20 a 0,40 m de um ARGISSOLO Vermelho distrófico, em função de doses de calcário aplicadas superficialmente em janeiro/2014.....	54
Figura 28 -	Análise química do Mg^{2+} do solo em amostras coletadas em 2016 (a), 2017 (b) e 2018 (c) na camada de 0,40 a 0,60 m de um ARGISSOLO Vermelho distrófico, em função de doses de calcário aplicadas superficialmente em janeiro/2014.....	55
Figura 29 -	Análise química do K^{+} do solo em amostras coletadas em 2016 (a), 2017 (b) e 2018 (c) na camada de 0,00 a 0,10 m de um ARGISSOLO Vermelho distrófico, em função de doses de calcário aplicadas superficialmente em janeiro/2014.....	56

Figura 30 -	Análise química do K ⁺ do solo em amostras coletadas em 2016 (a) e 2017 (b) na camada de 0,10 a 0,20 m de um ARGISSOLO Vermelho distrófico, em função de doses de calcário aplicadas superficialmente em janeiro/2014.	56
Figura 31 -	Análise química do K ⁺ do solo em amostras coletadas em 2016 (a), 2017 (b) e 2018 (c) na camada de 0,20 a 0,40 m de um ARGISSOLO Vermelho distrófico, em função de doses de calcário aplicadas superficialmente em janeiro/2014.....	57
Figura 32 -	Análise química do K ⁺ do solo em amostras coletadas em 2016 (a), 2017 (b) e 2018 (c) na camada de 0,40 a 0,60 m de um ARGISSOLO Vermelho distrófico, em função de doses de calcário aplicadas superficialmente em janeiro/2014.....	58
Figura 33 -	Análise química do enxofre (S) do solo em amostras coletadas em 2016 (a) e 2017 (b) na camada de 0,00 a 0,10 m de um ARGISSOLO Vermelho distrófico, em função de doses de calcário aplicadas superficialmente em janeiro/2014.....	58
Figura 34 -	Análise química do enxofre (S) do solo em amostras coletadas em 2016 (a), 2017 (b) e 2018 (c) na camada de 0,10 a 0,20 m de um ARGISSOLO Vermelho distrófico, em função de doses de calcário aplicadas superficialmente em janeiro/2014.....	59
Figura 35 -	Análise química do enxofre (S) do solo em amostras coletadas em 2016 (a), 2017 (b) e 2018 (c) na camada de 0,20 a 0,40 m de um ARGISSOLO Vermelho distrófico, em função de doses de calcário aplicadas superficialmente em janeiro/2014.....	60
Figura 36 -	Análise química do enxofre (S) do solo em amostras coletadas em 2016 (a) e 2017 (b) na camada de 0,40 a 0,60 m de um ARGISSOLO Vermelho distrófico, em função de doses de calcário aplicadas superficialmente em janeiro/2014.....	60
Figura 37 -	Análise química da CTC do solo em amostras coletadas em 2016 (a), 2017 (b) e 2018 (c) na camada de 0,00 a 0,10 m de um ARGISSOLO Vermelho distrófico, em função de doses de calcário aplicadas superficialmente em janeiro/2014.....	62
Figura 38 -	Análise química da CTC do solo em amostras coletadas em 2016 (a), 2017 (b) e 2018 (c) na camada de 0,10 a 0,20 m de um ARGISSOLO Vermelho distrófico, em função de doses de calcário aplicadas superficialmente em janeiro/2014.....	62
Figura 39 -	Análise química do CTC do solo em amostras coletadas em 2016 (a), 2017 (b) e 2018 (c) na camada de 0,20 a 0,40 m de um ARGISSOLO Vermelho distrófico, em função de doses de calcário aplicadas superficialmente em janeiro/2014.....	63
Figura 40 -	Análise química da CTC do solo em amostras coletadas em 2016 (a), 2017 (b) e 2018 (c) na camada de 0,40 a 0,60 m de um ARGISSOLO Vermelho distrófico, em função de doses de calcário aplicadas superficialmente em janeiro/2014.....	63
Figura 41 -	Análise química do V% do solo em amostras coletadas em 2016 (a), 2017 (b) e 2018 (c) na camada de 0,00 a 0,10 m de um ARGISSOLO Vermelho distrófico, em função de doses de calcário aplicadas superficialmente em janeiro/2014.....	64

Figura 42 -	Análise química do V% do solo em amostras coletadas em 2016 (a), 2017 (b) e 2018 (c) na camada de 0,10 a 0,20 m de um ARGISSOLO Vermelho distrófico, em função de doses de calcário aplicadas superficialmente em janeiro/2014.....	64
Figura 43 -	Análise química do V% do solo em amostras coletadas em 2016 (a), 2017 (b) e 2018 (c) na camada de 0,20 a 0,40 m de um ARGISSOLO Vermelho distrófico, em função de doses de calcário aplicadas superficialmente em janeiro/2014.....	65
Figura 44 -	Análise química do V% do solo em amostras coletadas em 2016 (a), 2017 (b) e 2018 (c) na camada de 0,40 a 0,60 m de um ARGISSOLO Vermelho distrófico, em função de doses de calcário aplicadas superficialmente em janeiro/2014.....	65
Figura 45 -	Análise do Ca na diagnose foliar da soja safra 16/17 (a) e 17/18 (b) em função de doses de calcário com e sem gesso agrícola aplicadas superficialmente em janeiro/2014.....	66
Figura 46 -	Análise do Mg na diagnose foliar da soja safra 16/17 (a) e 17/18 (b) em função de doses de calcário com e sem gesso agrícola aplicadas superficialmente em janeiro/2014.....	67
Figura 47 -	Análise do K na diagnose foliar da soja safra 16/17 (a) e 17/18 (b) em função de doses de calcário com e sem gesso agrícola aplicadas superficialmente em janeiro/2014.....	67
Figura 48 -	Análise do S na diagnose foliar da soja safra 16/17 (a) em função de doses de calcário com e sem gesso agrícola aplicadas superficialmente em janeiro/2014.....	68
Figura 49 -	Produtividade das safras de soja 16/17 (a) e 17/18 (b) em função de doses de calcário com e sem gesso agrícola aplicadas superficialmente em janeiro/2014.....	70

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Caracterização química inicial realizada no ano de 2014 na área experimental.	32
Tabela 2 -	Caracterização química e granulométrica realizada no ano de 2016 na área experimental.....	33
Tabela 3 -	Análise química do potássio (K) no solo em amostra coletada em 2018 na camada de 0,10 a 0,20 m de um ARGISSOLO Vermelho distrófico, em função de gesso agrícola aplicado superficialmente em janeiro/2014.....	57
Tabela 4 -	Análise química do enxofre (S) no solo em amostra coletada em 2018 na camada de 0,00 a 0,10 m de um ARGISSOLO Vermelho distrófico, em função de gesso agrícola aplicado superficialmente em janeiro/2014.....	59
Tabela 5 -	Análise química do enxofre (S) no solo em amostra coletada em 2018 na camada de 0,40 a 0,60 m de um ARGISSOLO Vermelho distrófico, em função de gesso agrícola aplicado superficialmente em janeiro/2014.....	60
Tabela 6 -	Análise do S na diagnose foliar da soja safra 17/18 em função de doses de calcário com e sem gesso agrícola aplicadas superficialmente em janeiro/2014.....	68

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
2 OBJETIVO	17
3 HIPÓTESES	17
4 REVISÃO DE LITERATURA	18
4.1 Características e cuidados no uso e manejo dos solos arenosos	18
4.2 Importância da calagem e gessagem para o solo	19
4.3 Fatores que atrapalham a correção da acidez do solo em aplicações superficiais	21
4.4 Dinâmica do cálcio e magnésio no solo	26
4.5 Cultura da soja	27
5 MATERIAL E MÉTODOS	29
5.1 Localização da área experimental	29
5.2 Delineamento experimental e tratamentos	31
5.3 Instalação e condução do experimento	31
5.4 Avaliações do experimento	35
5.4.1 Análise química de solo.....	35
5.4.2 Análise de tecido vegetal.....	38
5.4.3 Produtividade da soja.....	39
5.5 Análise estatística	43
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO	43
6.1 pH	43
6.2 Alumínio (Al³⁺)	46
6.3 Cálcio (Ca²⁺)	49
6.4 Magnésio (Mg²⁺)	52
6.5 Potássio (K⁺)	55
6.6 Enxofre (S)	58
6.7 CTC	61
6.8 Saturação por bases (V%)	63
6.9 Diagnose foliar da soja	65
7 PRODUTIVIDADE DA SOJA	68
8 CONCLUSÃO	71
REFERÊNCIAS	72

1 INTRODUÇÃO

A soja (*Glycine max L.*) é a mais importante oleaginosa cultivada no mundo. Constitui, atualmente, um dos produtos de maior importância na economia brasileira, ocupando lugar de destaque na oferta de óleo para consumo interno, na alimentação animal como principal fonte proteica, bem como, na pauta de exportação do país (VAL, 2014). O Brasil é um dos países que tem maior área agrícola cultivada em sistema plantio direto (SPD), com 31,8 milhões de hectares, correspondendo mais da metade da área agrícola do País (FEBRAPDP, 2012). A acidez do solo, processo que acontece de forma natural, podendo variar sua intensidade e depende de fatores intrínsecos relacionados ao solo, é um dos fatores mais limitantes à produtividade das culturas, no mundo (FAGERIA, 2001), sendo a calagem utilizada para a sua correção. De acordo com trabalhos realizados por Caires, *et al.* (2003), o aumento do pH com a calagem eleva-se o pH do solo, neutraliza-se o Al^{3+} tóxico e adiciona-se Ca^{2+} e Mg^{2+} proporcionando condições favoráveis ao crescimento do sistema radicular e absorção de água e nutrientes pelas plantas, a elevação é maior na camada superficial do solo (0-5 cm), independentemente do modo de aplicação do calcário, e decrescem conforme aumenta a profundidade do solo, principalmente quando o calcário é aplicado na superfície como ocorre em SPD. A melhoria das características químicas do solo, em profundidade, decorrentes da calagem superficial será proporcional a dose utilizada do corretivo (RHEINHEIMER, 2000).

Outro insumo agrícola importante no manejo da fertilidade de solos ácidos é o gesso, que reage com o Al^{3+} precipitando-o (ZAMBROSI *et al.*, 2007) permitindo que ele fique em formas menos tóxicas ($AlSO_4^{+}$), ainda tem o benefício no aumento dos teores de Ca^{2+} e S no subsolo (NEIS *et al.*, 2010). A ação do gesso ocorre em maior profundidade que a do calcário, por ser um corretivo relativamente solúvel, movimenta-se cerca de 150 vezes mais (MASCHIETTO, 2009). Com isso, gesso é considerado um condicionador de solo e não promove alteração no pH (MEURER *et al.* 2004), compensa o efeito superficial do calcário por atuar até no subsolo, sem que seja necessária a incorporação (CAIRES *et al.*, 2003).

É importante lembrar que o conhecimento da dinâmica na correção da acidez iniciada a partir da superfície do solo no SPD, assim como, os benefícios da aplicação conjunta de calcário e gesso agrícola, em experimentos a longo prazo, são ainda

pouco investigados, principalmente, em condições de clima tropical. Logo, são de extrema necessidade e grande importância para o estabelecimento dos ajustes na correta recomendação de calagem e gessagem para culturas graníferas anuais em SPD.

2 OBJETIVO

O objetivo do trabalho foi avaliar a disponibilidade da fertilidade de um solo arenoso no sistema, diante da aplicação de doses de calcário dolomítico na ausência e na presença de gesso como condicionador de subsuperfície.

3 HIPÓTESES

As hipóteses do trabalho foram verificar se:

- 1) As doses de calcário dolomítico, aplicadas em dose única, manteriam a V% do solo a níveis adequados, considerando a exigência nutricional da soja;
- 2) As doses de calcário dolomítico aumentariam o teor disponível de Mg, no sistema, acima do nível crítico;
- 3) Uma dose elevada de gesso agrícola aumentaria os teores de Ca e Mg em subsuperfície;
- 4) As doses elevadas de calcário e a aplicação de gesso seriam capazes de proporcionar movimentação do K^+ e SO_4^{2-} em subsuperfície;
- 5) O tempo de ação residual do calcário e do gesso agrícola no sistema no contexto de um solo arenoso.

4 REVISÃO DE LITERATURA

4.1 Características e cuidados no uso e manejo dos solos arenosos

Solos arenosos são caracterizados por apresentar baixa fertilidade, baixa CTC, baixos níveis de fósforo e potássio, e pequena quantidade de enxofre e outros micronutrientes. Porém, quando a sua baixa fertilidade é corrigida, elevando níveis de cálcio e magnésio, por meio da calagem, torna desta forma o pH adequado, este tipo de solo pode vir a apresentar grande potencial para o cultivo, principalmente, de soja (LATMANN, 2013).

Esse tipo de solo apresenta textura leve, e sua composição granulométrica encontra-se nas classes textuais areia, areia franca e franco-arenosa, podendo conter cerca de 50 a 100% de areia em uma fração do solo $>0,05\text{mm}$ e $<2,00\text{mm}$. A principal classe de solo arenoso presente no Brasil é o Neossolo Quartzarênico, responsável pela ocupação de 11% da área do país. Além disso, os solos arenosos possuem baixa capacidade de retenção de água associada a elevadas taxas de percolação e infiltração da mesma. Estes são característicos por facilitar o preparo mecânico, porém são extremamente sensíveis ao preparo intensivo devido as suas características estruturais (KLUTHCOUSKI, 2015).

A macroporosidade dos solos arenosos vai depender da preservação dos teores de matéria orgânica e da atividade biológica ali presente, as quais são capazes de proporcionar desenvolvimento satisfatório das raízes. Esse tipo de solo apresenta cerca de 15% a 25% de macroporosidade, a qual pode vir a diminuir em algumas condições de cultivo (RUSSEL, 1981).

Um dos principais indicadores do potencial produtivo do solo é a sua textura (Cox; Lins, 1984). A terra é considerada como mais produtiva quando o solo é de textura argilosa (NOVAIS, 1996), no entanto para Sanchez *et al.*, 2003 é constatada produtividades semelhantes ou em algumas ocasiões maiores em solos de cerrado de textura média e arenosa, quando comparado aos argilosos.

Já Alves *et al.*, (2006), destaca a importância da adição de resíduos das plantas de cobertura no aporte de maior quantidade de carbono no sistema, obtendo desta forma uma maior cobertura vegetal e mínima mobilização do solo, o que permite

manter a qualidade física do solo e diminuir o risco de erosão, sendo que esta também é causada pela redução de matéria orgânica no solo, sendo que a perda de nutrientes e solo através da erosão são fatores determinantes para perda de qualidade do solo o que limita consequentemente a produtividade.

Calegari (2006) cita a contribuição do sistema plantio direto (SPD) na eliminação da erosão do solo, redução no consumo de combustível, melhor aproveitamento de nutrientes, redução do intervalo de semeadura entre culturas e a recuperação das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo. Além disso o autor considera como principais fundamentos do sistema de plantio direto o revolvimento mínimo do solo, cobertura por palha e culturas permanente e formulação de um planejamento que gere estratégias para favorecer a renda mediante a utilização de plantas de cobertura que também são capazes de oferecer rendimentos a curto prazo. A utilização do sistema convencional de cultivo, que é conhecido pelo revolvimento da camada superficial do solo, provoca a degradação de macroagregados em pequenas unidades, favorecendo desta forma o ataque de microrganismos na palhada do solo, o que causa a sua rápida decomposição (SIQUEIRA NETO *et al.*, 2009).

O bom desempenho do SPD depende, dentre outros princípios, da utilização da rotação de culturas, sendo que com o emprego da semeadura de forma direta no solo é capaz de demonstrar que os restos de plantas podem ser deixados sobre a superfície deste, sendo posteriormente incorporados, por via biológica, gerando diversos resultados positivos (HEINZMANN *et al.*, 1985).

4.2 Importância da calagem e gessagem para o solo

A calagem tem demonstrado aumentos significativos na produção do Brasil, devido ao seu efeito de aumento do pH (RAIJ *et al.*, 1977), no fornecimento de cálcio e magnésio, redução do alumínio e manganês tóxicos (MASCARENHAS *et al.*, 1982), e no aumento da absorção de nutrientes como o nitrogênio, fósforo, potássio e enxofre (QUAGGIO *et al.*, 1993). No entanto, a reação do calcário é em sua maioria, limitada a região de sua aplicação no solo. Devido à dependência da lixiviação de sais através do perfil do solo, a calagem não apresenta um afeito rápido na redução da acidez do subsolo (MALAVOLTA; DANTAS, 1987).

Recomendações de calagem visam basicamente corrigir a acidez do solo e tornar o alumínio insolúvel. Devido aos seus efeitos e importância nos níveis tecnológicos dos diversos sistemas de produção, o desenvolvimento de espécies resistentes à acidez do solo via melhoramento genético não elimina a prática da calagem. Contudo, apesar de a toxidez do alumínio na superfície do solo (0-20cm) possa ser corrigida com a aplicação de calcário, este apresenta uma baixa solubilidade e movimentação no solo, o que acaba por impedir, que em curto período de tempo, ocorra a eliminação ou redução do alumínio tóxico no subsolo (>40cm) (GRUNDON, 1987).

De acordo com trabalhos realizados por Caires *et al.* (2003), o aumento do pH com a calagem é maior na camada superficial do solo (0-5 cm), independentemente do modo de aplicação do calcário, e decrescem conforme aumenta a profundidade do solo, principalmente quando o calcário é aplicado na superfície. Os efeitos da calagem na superfície sobre o pH do solo são significativos somente na profundidade de 0-5 cm, após 11 meses, e nas profundidades de 5-10 e 10-20 cm, após 23 meses, e de 20-40 cm, após 35 meses da aplicação do calcário. Quando é realizada a aplicação anual de 1/3 da dose de calcário na superfície por três anos seguidos, proporciona-se somente uma reação mais lenta do corretivo na camada superficial do solo (0-5 cm) em relação à aplicação em dose única.

Enquanto a calagem é capaz de melhorar as condições do solo na camada arável, que será na superfície, a técnica de gessagem propiciará condições adequadas ao crescimento na camada de subsuperfície, fornecendo nutrientes como o cálcio e enxofre nas camadas mais profundas do solo, o que conseqüentemente acaba por favorecer o enraizamento.

O gesso agrícola é um subproduto da indústria do ácido fosfórico que contém principalmente sulfato de cálcio com razoável solubilidade (CAIRES *et al.*, 2003; FARIA *et al.*, 2003; SÁVIO *et al.*, 2011). Desta forma, pode ser utilizado como fonte de enxofre e cálcio, ou como condicionados de subsuperfície do solo diminuindo a concentração do Al^{3+} (OLIVEIRA *et al.*, 2009). É necessário conhecer as características químicas e físicas do solo para decidir sobre a utilização do gesso agrícola, pois a maior probabilidade de resposta ao gesso vai ocorrer quando a saturação por Al^{3+} da CTC efetiva, for maior que 25 %, e/ou o teor de Ca, menor que 0,5 cmolc /dm³ de solo (ALVES *et al.*, 1999). Do ponto de vista de Quaggio *et al.*,

(1993), o emprego do gesso justifica-se, basicamente, quando se necessita de um fornecimento de cálcio e de enxofre e para que diminua as concentrações tóxicas do alumínio trocável nas camadas subsuperficiais, a qual não é corrigida apenas com a calagem, que age apenas na superfície do solo (RAIJ *et al.*, 1977), dessa forma ao aumentar a quantidade de cálcio na subsuperfície do solo, o crescimento radicular é favorecido. Alva *et al.* (1986) e Cameron *et al.* (1986), demonstraram que o gesso além de reduzir a atividade do alumínio em solução e de causar aumento nos teores de Ca e nos valores do pH, assim como diminuição no $H + Al$, gerando uma proliferação de raízes no subsolo e maior aproveitamento de água e de nutrientes pelas plantas (RITCHEY *et al.*, 1980; FARINA; CHANNON, 1988; SHAINBERG *et al.*, 1989, e ALVA; GASHO, 1989), também é capaz de causar a lixiviação de Mg e de K das camadas mais superficiais do solo, o que acaba expondo as plantas a eventuais deficiências nutricionais (RITCHEY *et al.*, 1980; FARINA; CHANNON, 1988; SHAINBERG *et al.*, 1989; ALVA; GASHO, 1991).

A melhoria dos efeitos da acidez no subsolo tem sido apresentada em vários trabalhos (OATES; CALDWELL, 1985; MARSH; GROVE, 1992; CARVALHO; RAIJ, 1997). Quando a lixiviação para solos ácidos segue a aplicação de gesso na superfície, ocorre uma melhor absorção de nutrientes e água pelas raízes das plantas e, também, um maior crescimento radicular (SUMNER *et al.*, 1986; CARVALHO; RAIJ, 1997), o que pode acontecer, segundo Shainberg *et al.* (1989), devido a um aumento da concentração de cálcio, da formação de espécies menos tóxicas de alumínio ($AlSO_4^+$) e da precipitação de Al^{3+} .

4.3 Fatores que atrapalham a correção da acidez do solo em aplicações superficiais

A movimentação física do calcário em profundidade pode ser atribuída a diversos fatores. O mais comum é o deslocamento físico de partículas do corretivo através de canais proporcionados por raízes decompostas, mantidos intactos em razão da ausência de preparo convencional do solo (OLIVEIRA; PAVAN, 1996; PETRERE; ANGHINONI, 2001; AMARAL *et al.*, 2004b). É possível também, que ocorra a formação de planos de fraqueza no solo permitindo o deslocamento físico de pequenas partículas de calcário através do movimento descendente da água (PETRERE; ANGHINONI, 2001; AMARAL *et al.*, 2004b). Esse mecanismo, sozinho

não justifica os expressivos efeitos da calagem superficial em profundidade observados em diversos experimentos, principalmente quando a área se encontra recém implantada no sistema plantio direto. A lixiviação, perda em profundidade de partículas finas do calcário é pouco provável, lembrando que uma partícula muito fina (por exemplo, com diâmetro de 0,001 mm) é 2.000 vezes maior que um íon Ca^{2+} hidratado. Assim, grande parte do efeito da calagem em profundidade é ocasionado devido à movimentação de íons (TEDESCO; GIANELLO, 2000), pois água que percola no solo, normalmente encontra-se enriquecida com os produtos da dissolução do calcário, que são responsáveis pela neutralização da acidez e aumento dos cátions de reação básica, permitindo assim, maior atuação em profundidade (RHEINHEIMER *et al.*, 2000).

Pode haver movimentação do calcário pela água de infiltração nas galerias de organismos do solo e macrocanais biológicos (RHEINHEIMER *et al.*, 2000), formados pela mesofauna do solo (ácaros e colêmbolas) e macrofauna (minhocas, besouros, cupins, formigas, centopeias, aranhas, lesmas e caracóis). A incorporação de forma biológica do calcário através da ação dos microrganismos é efetiva, pois estes são responsáveis por mais de 95% da decomposição ocasionada no solo, e os outros 5% da fauna, auxiliam no rearranjo dos detritos e sua desintegração, dessa maneira, ocasionando a incorporação dos resíduos vegetais da superfície com o calcário aplicado (HOLTZ; SÁ, 1995). Por menor que seja a mobilização do solo que ocorre somente na linha de semeadura no sistema plantio direto, contribui com a movimentação física do calcário em função da incorporação ocorrida nesta região, que devido a repetidos ciclos de semeadura, auxilia no deslocamento em profundidade das partículas do corretivo (RHEINHEIMER *et al.*, 2000). Segundo Caires *et al.*, (1999), a ausência de efeito da calagem superficial sobre o pH nas camadas intermediárias de solo, atuando em profundidade, é indício de que não deve ocorrer deslocamento físico do calcário, devendo a elevação do pH em camadas subsuperficiais do solo ser atribuída a outros.

A dissolução do calcário, em solos ácidos, promove a liberação de ânions (OH^- e HCO_3^-), que reagem com os cátions de reações ácidas da solução do solo (H^+ , Al^{3+} , Fe^{2+} , Mn^{2+}), ocasionando a formação e a migração de $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ e $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ para camadas mais profundas do solo (OLIVEIRA; PAVAN, 1996; RHEINHEIMER *et al.*, 2000). Costa (2000), em estudos com calagem superficial no SPD, verificou aumento nos teores de Mg na solução do solo, em todo o perfil do solo, indicando

movimentação para as camadas subsuperficiais do Mg oriundo da reação de hidrólise do calcário dolomítico aplicado em superfície. Os resultados confirmaram a hipótese estabelecida por Oliveira e Pavan (1996), de formação de pares iônicos entre o bicarbonato, cálcio e magnésio facilitando o seu movimento no perfil do solo.

A partir do momento que pH da solução do solo atinge valores superiores à 5,5, a espécie HCO_3^- esse passa a estar presente como forma estável da solução e sua concentração aumenta até atingir valores elevados na faixa de pH 8,0 e 8,5 (BOHN *et al.*, 1979). Nesse caso HCO_3^- pode migrar com o Ca^{2+} e o Mg^{2+} , corrigindo a acidez do solo e também o local de aplicação do calcário (OLIVEIRA; PAVAN, 1996; COSTA, 2000). Enquanto houver cátions ácidos, a reação de neutralização da acidez estará limitada à camada superficial, reduzindo o efeito em subsuperfície (RHEINHEIMER *et al.*, 2000). Logo, para que a neutralização da acidez ocorra no perfil do solo, os produtos da dissolução do calcário devem ser deslocados para camadas inferiores (LIMA, 2004). Pode ocorrer de ânions, como nitratos, sulfatos e cloretos, originados da decomposição dos resíduos vegetais ou da adição de fertilizantes, proporcionem o deslocamento do Ca e Mg e, em menor grau, de outros cátions (CAIRES *et al.*, 1998).

A eficiência da calagem superficial sobre a elevação do pH, movimentação de Ca e Mg trocáveis e redução da acidez potencial (H^+Al), das camadas no perfil do solo, tem sido associada ao manejo de resíduos orgânicos (MIYAZAWA *et al.*, 1996; OLIVEIRA; PAVAN, 1996; FRANCHINI *et al.*, 2001; MEDA *et al.*, 2001; MEDA *et al.*, 2002b; MIYAZAWA *et al.*, 2000; MIYAZAWA *et al.*, 2002; ZIGLIO *et al.*, 1999). De acordo com Caires (2000) e Miyazawa *et al.* (2000), os resíduos vegetais na superfície e o não revolvimento do solo, diminuem a taxa de decomposição dos ligantes orgânicos por microrganismos, sendo que, com a disponibilidade de água, os compostos orgânicos podem ser solubilizados e lixiviados. Neste caso o aporte de resíduos, possibilita a produção contínua desses compostos orgânicos, podendo resultar em sua perenização no solo (AMARAL *et al.*, 2004a). Segundo Miyazawa *et al.* (1996) e Franchini *et al.* (2001), a provável causa da lixiviação de bases trocáveis em áreas de cultivo sem sistema de preparo do solo está relacionado à formação de complexos orgânicos hidrossolúveis presentes nos restos das plantas, sendo esses ácidos orgânicos responsáveis por ocasionarem as maiores alterações químicas até camada subsuperficial dos solos. Na camada superficial do solo, os ligantes orgânicos complexam o cálcio trocável, formando um composto estável ou com carga negativa,

o que facilita sua mobilidade no solo (MIYAZAWA *et al.*, 2000). Para o magnésio as reações são semelhantes (CAIRES *et al.*, 1998).

Logo resíduos produzidos pelas plantas de cobertura proporcionam mais efeitos do que os de culturas comerciais obtidos após a colheita de grãos (FRANCHINI *et al.*, 1999a; 1999b; 2003; MEDA *et al.*, 2001; MIYAZAWA *et al.*, 2002). Algumas características intrínsecas aos solos, principalmente aquelas relacionadas com o tamponamento, também afetam a profundidade de atuação das reações de correção do solo provocadas pela calagem (ERNANI *et al.*, 2001). O poder tampão de um solo está ligado à sua capacidade de resistir a aplicações de ácidos, ou bases, sem sofrer grandes alterações em seu pH. Esta capacidade encontra-se associada aos constituintes do solo. Assim, solos argilosos ou com elevados teores de matéria orgânica, geralmente apresentam maior poder tampão, pois os pontos de troca dos colóides orgânicos e minerais, funcionam como receptores e fornecedores de H⁺, mantendo o pH do solo sem grandes alterações (LUCHESE, *et al.*, 2001). Pöttker e Ben (1998) observaram que em um solo de textura média, houve maior efeito da calagem aplicada em superfície na correção da acidez em profundidade, quando comparado com um solo de textura argilosa. A qualidade do corretivo utilizado também pode ter influenciado na velocidade da correção do solo, mas são mínimos os trabalhos relacionados ao uso de diferentes tipos de corretivos em aplicações superficiais. Calcário com granulometria mais fina apresenta maior reatividade que calcário com granulometria mais grosseira, no SPD (MELLO, 2001, GONÇALVES, 2003), porém a velocidade de reação do corretivo e o efeito residual são duas inversamente proporcionais, ou seja, os materiais finamente moídos reagem rapidamente no solo, mas seu efeito é mantido por um período mais curto do que materiais mais grosseiros (TISDALE; NELSON, 1985). O efeito residual de um corretivo é fator primordial no manejo dos solos ácidos, devendo ser considerado, principalmente, na avaliação da economicidade da calagem (RAIJ; QUAGGIO, 1984).

O calcário reduz sensivelmente a acidez superficial do solo (SOUZA *et al.*, 2009), enquanto a gessagem condiciona os elementos, favorecendo o crescimento vertical do sistema radicular. Deste modo, a calagem (CHAVES; FARIAS, 2008) e a gessagem (SALDANHA *et al.*, 2007) são práticas necessárias na maior parte dos solos brasileiros. Os solos brasileiros são caracterizados pela sua acidez e pobreza de nutrientes, portanto a prática da calagem torna-se fundamental para a elevação do pH do solo, aumento dos teores de Ca e Mg, da saturação por bases, além da

diminuição os teores de alumínio e manganês, criando desta forma um ambiente propício para a fixação do nitrogênio do ar através das bactérias fixadoras. Este processo é resultante da dissociação do carbonato de cálcio de acaba por reagir com os coloides do solo, devendo o calcário ser aplicado antes do plantio de forma uniforme e que seja feita sua incorporação em camadas mais profundas (KAMINSKI, 2005).

No entanto, Braga (2011), define que no sistema de plantio direto a calagem deve ser feita de forma superficial, sendo que sua eficiência quando feita em superfície é variável de acordo com o método de aplicação do corretivo, tipo de solo, quantidade do produto, disponibilidade de água, tempo após a aplicação e clima.

A adição de calcário superficial mostrou-se eficaz na maioria das situações, sendo a produtividade alcançada satisfatória, mesmo sendo inferiores as doses necessárias na aplicação superficial quando comparada às doses utilizadas no sistema convencional (PÖTTKER; BEN, 1996).

Porém, Kaminski *et al.* (2000), cita que a incorporação do calcário é capaz de apresentar melhores resultados às culturas mais exigentes, porém, Caires *et al.* (1998), considera que a calagem superficial é responsável por propiciar melhorias no sistema radicular e quando expostas a condições de compactação ou selamento de poros, é capaz de propiciar alterações nos atributos químicos em profundidade, especialmente em solos menos argilosos e com menos acidez. Quando comparados os efeitos da calagem superficial, em pesquisas realizadas por Gatiboni *et al.* (2003), estes ocorreram em profundidades variando de 7 a 25 cm, dependendo, principalmente, da dose aplicada. As pesquisas sobre correção de solos apresentam fatos contraditórios, uma vez que a aplicação superficial de calcário, corretivo mais utilizado, ora é eficiente na correção da acidez, tanto de superfície quanto de subsuperfície (CAÍRES *et al.*, 2000), ora os efeitos são limitados à camada de solo de 0-5 cm de profundidade (AMARAL; ANGHINONI, 2001).

O início dos estudos sobre a utilização de gesso agrícola ou fosfogesso na agricultura ocorreu devido ao grande volume produzido, sendo correspondente a cerca de 4,5 milhões de toneladas por ano (VITTI, 2000). Raji (1985) afirma que devido a solubilidade do gesso ser cerca de 20 vezes maior que a do calcário, a sua aplicação complementa a aplicação do calcário e realiza uma ação mais profunda na redução dos teores de Al^{3+} tóxico e aumenta os teores de bases ao longo do perfil do solo.

Em relação aos efeitos da correção do solo na subsuperfície, a aplicação de gesso juntamente com calcário tem sido apontada por diversos autores como fonte de nutrientes e alternativa na melhoria do ambiente radicular em profundidade nos primeiros anos de cultivo, época em que a ação do calcário, por ser pouco solúvel e apresentar baixa mobilidade no solo, ainda não atingiu as camadas subsuperficiais (CAIRES *et al.*, 2003; PAVAN, 1994). Por outro lado, a baixa solubilidade do calcário (0,02 g L⁻¹), teoricamente, poderia ser compensada pela sua alta concentração na superfície do solo favorecendo a descida desse corretivo.

4.4 Dinâmica do cálcio e magnésio no solo

Solos tropicais são característicos por apresentarem acidez elevada e alta toxicidade por alumínio, além de teores de cálcio e magnésio abaixo dos considerados ideais. Faz-se necessário a realização da correção destes solos por meio da calagem para aumentar seu potencial produtivo (LOPES *et al.*, 1991).

O balanço ideal de cátions no complexo de troca deve estar ocupado por 65% de Ca²⁺, 10% de Mg²⁺, 5% de K⁺ e 20% de H⁺, perfazendo uma saturação igual a 80% (BEAR; TOTH, 1948).

A correção da acidez do solo através da calagem, com objetivo de elevar o índice de saturação por bases, gerou um desequilíbrio entre os cátions Ca, Mg e K. Sendo que a perda de potássio por meio da lixiviação, principalmente em solos arenosos, é outro fator que prejudicou essa relação (MASCARENHAS, 1988).

A relação entre cálcio e magnésio está diretamente relacionada com as propriedades químicas do solo, as quais podem fazer com que haja uma competição na adsorção radicular. Sendo assim, a presença de um desses nutrientes pode vir a prejudicar a adsorção e absorção do outro, sendo que esse fato é comum para íons Ca⁺² e Mg⁺² (ORLANDO FILHO *et al.*, 1996).

Os solos brasileiros, em geral, são ácidos e pobres em nutrientes, neste caso, o cálcio e o magnésio podem apresentar teores muito baixos. São nutrientes importantes e necessários ao bom desenvolvimento das plantas, traduzindo-se em aumentos de produtividade. Eles guardam uma relação entre si, a chamada relação Ca:Mg. Acima de tudo, devemos ter em mente que a aplicação de cálcio em excesso inibe a absorção de magnésio, e vice-versa. Além disto, aplicação de calcário por

conter o cálcio melhora a absorção do micronutriente Boro. Por isto, na escolha do corretivo, para neutralizar a acidez do solo, é indispensável considerar a relação Ca:Mg presentes no produto. Corretivos do solo com desequilíbrio nas quantidades de Ca e Mg podem provocar desbalanços nutricionais que comprometerão a produtividade da planta (DE-POLLI; PIMENTEL, 2005).

Através da análise de solo pode se então determinar qual calcário usar (dolomítico ou calcítico) e do que precisa ser feito em termos de recomendação de corretivos e fertilizantes. Entre estes nutrientes, o cálcio e o magnésio estão inclusos, porém, mesmo com a adição de um calcário dolomítico não se consegue estabelecer a relação que desejamos, principalmente quando queremos aumentá-la, com isso há, então, a necessidade de utilizar um calcário calcítico para atingir o objetivo (CAIRES, 1999).

4.5 Cultura da soja

A soja (*Glycine max L.*) é a mais importante oleaginosa cultivada no mundo. Constitui, atualmente, um dos produtos de maior importância na economia brasileira, ocupando lugar de destaque na oferta de óleo para consumo interno, na alimentação animal como principal fonte proteica, bem como, na pauta de exportação do país (VAL, 2014). Na safra de 2017/2018 a produtividade média de soja no Brasil foi de 3,15 Mg ha⁻¹ um aumento de quase 3% na produção em relação à safra anterior 2016/2017 que produziu 3,07 Mg ha⁻¹, principalmente devido à má distribuição das chuvas na fase de floração (CONAB, 2018).

Dos fatores que representam maior custo para o agricultor é o uso de insumos, como os fertilizantes (GUARESCHI *et al.*, 2008). Dessa forma, o manejo eficiente da fertilidade do solo, envolvendo correção da acidez e adubação, é fator determinante da produtividade na cultura da soja (BERNARDI *et al.*, 2009).

Na cultura da soja, existem autores que indicam efeito benéfico do gesso no aumento dos teores foliares de enxofre (GELAIN *et al.*, 2011) pelo gesso ser excelente fonte de enxofre (S) (SORATTO; CRUSCIOL, 2008) e na produção de grãos (BROCH *et al.*, 2011), principalmente por exercer funções importantes na nutrição da cultura, como constituinte de aminoácidos essenciais (cistina e metionina) e de várias coenzimas,

sendo que sua deficiência interrompe a síntese de proteínas (EPSTEIN; BLOOM, 2006).

Pode ser usada na alimentação animal na forma de semente, casca ou farelo. O farelo de soja é o subproduto obtido após a extração do óleo do grão da soja para consumo humano. É também considerado o melhor alimento proteico, pois há altos níveis de proteína de boa qualidade, energia e palatabilidade. Além disso, o farelo tem um custo mais acessível, possui ainda grande influência na dieta do animal. Ávila e Albrecht (2010), estudou que a soja vem sendo indicada como alternativa de prevenção de doenças e utilização na fabricação de farinha, leite, proteína texturizada, biodiesel, tintas e vernizes, entre outros. Em geral, a agricultura enfrenta problemas devido as grandes mudanças climáticas repentinas. Isso de certa forma contribui muito e reflete diretamente na produção da soja. Um dos grandes responsáveis por essas drásticas mudanças é o aquecimento global, pois a necessidade total de água para obtenção do máximo rendimento varia entre 450 a 800 mm por ciclo, dependendo das condições climáticas, do manejo da cultura e da duração do ciclo da cultivar (EMBRAPA, 2008).

Assim, a água atua, praticamente, em todos os processos fisiológicos e bioquímicos da planta, constituindo aproximadamente 90% de sua massa, e é responsável pela regulação térmica da mesma, atuando tanto no resfriamento como na manutenção e distribuição do calor (NEPOMUCENO; FARIAS; NEUMAIER, 1994). A soja possui uma alta necessidade de nitrogênio, por conter um alto teor de proteína (BOHRER; HUNGRIA, 1998). Estima-se que o Brasil gera uma economia de 3 bilhões de dólares por ano, por não ter a necessidade de adubação nitrogenada da soja (MERCANTE, 2005). Devido à fixação das bactérias nas raízes da soja, é estabelecida uma simbiose, a qual fornece o nitrogênio necessário para o desenvolvimento da planta. De acordo com Taiz e Zieger (2009), os *Bradyrhizobium* são os responsáveis por aproximadamente 90% da fixação natural do nitrogênio. A inoculação em áreas com histórico de cultivo de soja deve ser realizada anualmente, pois no período de entressafra de soja ocorre competição entre bactérias fixadoras de nitrogênio e outros microrganismos nativos da área agrícola, reduzindo a população de bactérias eficientes na fixação do nitrogênio menos adaptadas as variações de regime hídrico e térmico do que os microrganismos nativos, predominando bactérias menos eficientes na fixação do nitrogênio (CÂMARA; FERREIRA; DIANESE, 2014).

Os *Bradyrhizobium* penetram nas raízes da soja formando nódulos e são nestas estruturas que correm a fixação biológica. Nos nódulos a amônia sintetizada se une com o hidrogênio o qual tem grande quantidade nas bactérias formando NH_4^+ e assim sendo fornecido à planta para a formação de vários compostos (HUNGRIA; CAMPO; MENDES, 2001).

5 MATERIAL E MÉTODOS

5.1 Localização da área experimental

O experimento foi conduzido, na Fazenda Experimental da Universidade do Oeste Paulista - Unoeste, em Presidente Bernardes-SP, em um solo classificado como ARGISSOLO Vermelho distrófico (EMBRAPA, 2006), com relevo suave ondulado.

A localização da área experimental foi definida pelas coordenadas geográficas: 22°17'27" Latitude Sul e 51°40'51" Longitude Oeste de Greenwich, com altitude média de 385 metros. O clima da região de Presidente Prudente-SP, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Cwa, com temperaturas médias anuais em torno de 25°C e regime pluvial caracterizado por dois períodos distintos, um chuvoso de outubro a março e outro de baixa precipitação pluvial de abril a setembro.

Figura 1 – Gráfico da pluviosidade do experimento durante os anos 2016, 2017 e 2018.

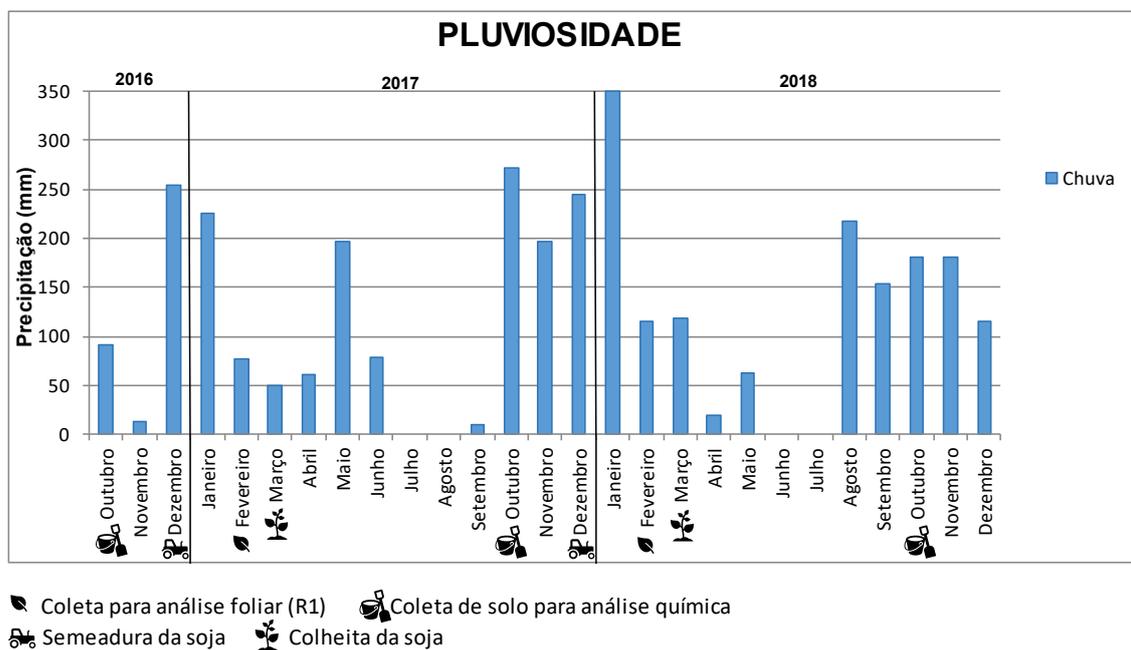


Figura 2 – Área experimental do trabalho (2016).



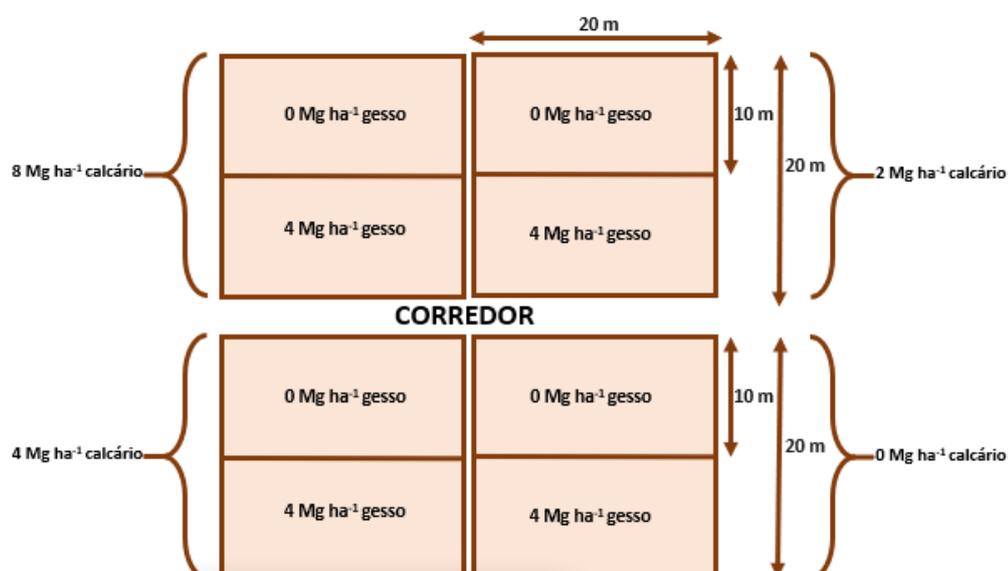
Fonte: Feba, L.T

5.2 Delineamento experimental e tratamentos

O experimento foi estruturado de acordo com o delineamento experimental em faixas com parcelas subdivididas, em esquema fatorial 4x2, com três repetições, sendo as parcelas constituídas por quatro doses de calcário (0, 2, 4 e 8 Mg ha⁻¹) e as subparcelas pelas doses de gesso agrícola (0 e 4 Mg ha⁻¹).

As parcelas e as subparcelas compreenderam uma área de 400 m² e 200 m², respectivamente, e receberam em 2014 a aplicação única e superficial do calcário dolomítico (CaO - 36%, MgO 15,8% e PRNT 90%), com e sem gesso agrícola (CaSO₄) que é uma excelente fonte de Ca - 20% e S - 16%.

Figura 3 – Croqui da área experimental.



5.3 Instalação e condução do experimento

A pastagem foi dessecada em janeiro de 2014. Após a dessecação foi realizada a amostragem de solo e as análises química e granulométrica da área, para tanto foram coletadas amostras de solo de 0,00 a 0,20; 0,20 a 0,40; 0,40 a 0,60 m de profundidade. As amostras foram analisadas quanto às seguintes características: pH

(CaCl₂), matéria orgânica, bases trocáveis, alumínio, acidez potencial e fósforo disponível (resina) em seguida foram calculadas a capacidade de troca de cátions (CTC) saturação por bases (V%), boro (B), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn), conforme metodologia proposta por RAIJ *et al.*, (2001).

Tabela 1 - Caracterização química inicial realizada no ano de 2014 na área experimental.

Profundidade	pH	M.O.	P	S-SO ₄ ²⁻	Al ³⁺	H + Al	K	Ca	Mg	SB	CTC	m	V
	CaCl ₂	g dm ⁻³	mg dm ⁻³	mg dm ⁻³				mmol _c dm ⁻³			%	%	
0,0 - 0,2 m	5,8	12,1	2,5	5,9	0	15,1	0,5	11,7	9,2	21,4	36,4	0	58,6
0,1 - 0,4 m	5,0	9,5	1,6	8,0	0	18,6	0,5	5,1	2,7	8,3	26,9	0	30,9
0,2 - 0,6 m	5,0	6,3	0,3	6,4	0	18,6	0,3	2,8	2,5	5,6	24,2	0	23,1
MICRONUTRIENTES													
Profundidade	B		Cu		Fe		Mn		Zr				
	mg dm ⁻³												
0,0 - 0,2 m	0,31		0,2		13,3		4,4		0,2				
0,1 - 0,4 m	0,31		0,3		21,9		3,1		0,1				
0,2 - 0,6 m	0,30		0,3		15,9		1,9		0,1				

Após a retirada da análise química do solo, foram aplicados os tratamentos com as doses de calcário e gesso agrícola superficialmente, no final de abril foi semeada aveia preta, para cobertura do solo e rotação de cultura. Nas safras 2014/15 e 2015/16, na primeira safra a área foi ocupada com a cultura da soja e na segunda safra com a cultura do milho consorciado com pastagem (*U. ruziziensis* cv. *Brachiaria ruziziensis*).

Após a retirada das amostras de solo, foram aplicados os tratamentos com as doses de calcário com e sem gesso agrícola superficialmente. No final de abril foi semeada aveia preta, para cobertura do solo. Nas safras 2014/15 e 2015/16, na primeira safra a área foi ocupada com a cultura da soja e na segunda safra com a cultura do milho consorciado com pastagem (*U. ruziziensis* cv. *Brachiaria ruziziensis*).

Tabela 2 - Caracterização química e granulométrica realizada no ano de 2016 na área experimental.

Profundidade	pH	M.O.	P	S-SO ₄ ²⁻	Al ³⁺	H + Al	K	Ca	Mg	SB	CTC	m	V
	CaCl ₂	g dm ⁻³	mg dm ⁻³	mg dm ⁻³	mmol _c dm ⁻³	mmol _c dm ⁻³	mmol _c dm ⁻³	mmol _c dm ⁻³	mmol _c dm ⁻³	mmol _c dm ⁻³	mmol _c dm ⁻³	%	%
0,0 - 0,1 m	4,7	15,2	8,6	11,4	1,5	23,9	2,3	13,9	5,3	21,5	45,4	3,3	47,5
0,1 - 0,2 m	4,53	11,4	3,2	9,6	1,7	22,2	1,8	6,5	5,3	13,6	35,8	4,7	38,0
0,2 - 0,4 m	4,7	8,4	1,7	9,8	1,3	16,9	1,8	5,4	4,6	11,8	28,7	4,5	40,9
0,4 - 0,6 m	4,7	6,8	2,2	10,9	1,9	15,7	1,4	4,4	2,5	8,4	24,1	7,9	34,6
GRANULOMETRIA													
	AREIA			SILTE			ARGILA			CLASSE TEXTURAL			
	g kg ⁻¹												
0,0 - 0,2 m	839			48			113			Arenosa			
0,2 - 0,4 m	803			50			147			Arenosa			
0,4 - 0,6 m	773			38			189			M. arenosa			
0,6 - 0,8 m	761			52			187			M. arenosa			

Cada amostra foi composta por 10 amostras simples.

Foi a partir de 28 de outubro de 2016 que este novo ciclo de pesquisa experimental foi iniciado nessa área. Na mesma data, a área foi dessecada com dosagem de 6 L ha⁻¹ de *Glyphosate* e no dia 31 de outubro com 2 L ha⁻¹ de *Paraquat*. Implantou-se a cultura da soja no dia 05 de dezembro, cultivar TMG 7060 IPRO, germinação de 80%, hábito de crescimento é semi - determinado, ciclo precoce de mais ou menos 125 dias, exigência de fertilidade que varia de média a alta com alto potencial produtivo e susceptível a Nematóides da Galha (*Meloidogyne incógnita*), (*Meloidogyne javanica*) e Nematóide de Cisto.

O tratamento de semente foi realizado com *Cropstar* 300 mL e *Viatafax* 150 mL por 40 kg de semente e a inoculação foi efetivada com 4 doses (100 ml/dose) do inoculante Bioprotex (*Bradyrhizobium japonicum*). Foram distribuídas 15 sementes/m' com espaçamento entre linhas de 0,45 m. A adubação de semeadura foi realizada com 250 kg ha⁻¹ da formulação de NPK 08-28-16 com 0,5% Zn; 0,1% B e 0,2% Mn.

Em 28 de dezembro de 2016, foi realizado o controle das plantas daninhas, com aplicação de *Glyphosate* na dose de 3 L ha⁻¹ junto com 500 mL ha⁻¹ de *Verdict*. No dia 13 de janeiro de 2017 foi aplicado 500 mL ha⁻¹ do inseticida Connect, 500 mL ha⁻¹ de Opera e 1 L ha⁻¹ do *Metomax*. Em 06 de fevereiro realizou-se a coleta de folhas com pecíolo para realização da diagnose foliar da soja e no dia 20 de março a área foi dessecada com 5 L ha⁻¹ de *Glyphosate* e em 23 de março coletou-se as plantas

para a realização da produtividade da soja. A área total da lavoura de soja foi colhida em 25 de março, após a colheita da soja, no início do mês de abril, foi realizada a semeadura da *Urochloa brizantha* cv. Marandu, 8 sementes/m² com espaçamento entre linhas de 0,22 m.

Na safra 2017/2018 os procedimentos foram iniciados em outubro de 2017 com a dessecação da área com dosagem de 6 L ha⁻¹ de *Glyphosate* e 750 mL ha⁻¹ de *Select*, no dia 07 de novembro foi aplicado 2 L ha⁻¹ de *Paraquat*. Novamente no dia 30 de novembro dessecou a área com 5 L ha⁻¹ de *Glyphosate* e 750 mL ha⁻¹ de *Select*. Implantou-se a cultura da soja no dia 06 de dezembro, cultivar TMG 7063 IPRO, germinação mínima de 80%, crescimento indeterminado, possui um ciclo médio de 114 a 124 dias, exigência de fertilidade que varia de média a alta com alto potencial produtivo, e com resistência a determinadas doenças como Cancro da haste (*Diaporthe aspalathi*), Ferrugem asiática (*P. pachyrhizi*), Mancha "Olho-de-rã" (*C. sojina*), Pústula bacteriana (*X. axonopodis*).

Em 15 de janeiro de 2018, foi realizado o controle das plantas daninhas, com aplicação de *Glyphosate* na dosagem de 1,5 L ha⁻¹ junto com 3,5 L ha⁻¹ de *Select*. No dia 31 de janeiro de 2018, foi aplicado 6 L ha⁻¹ do inseticida Connect, 4 L ha⁻¹ de Opera e 3,2 L ha⁻¹ do *Curyom*. Em 06 de fevereiro realizou-se a coleta de amostras de folhas com pecíolo para realização da diagnose foliar da soja. Foi aplicada uma solução para o controle de insetos no dia 21 de fevereiro contendo 100 mL de Haiten + 800 mL de água + 400 mL de Engeo Pleno + 250 mL de Ampligo. No dia 09 de março novamente aplicou-se inseticida na dosagem de 400 mL de Engeo em 300 L de água, dia 12 de março foi aplicado 300 mL ha⁻¹ de Connect e 100 mL ha⁻¹ de Engeo em 700 L de água.

A área foi dessecada em 20 de março, com 5 L ha⁻¹ *Glyphosate* para auxiliar a senescência na colheita da área, em 22 de março coletou-se as plantas para a realização da produtividade da soja por tratamentos. A área total da lavoura de soja foi colhida em 23 de março e no início do mês de abril, foi realizada a semeadura da *Urochloa brizantha* cv. Marandu, 8 sementes/m² com espaçamento entre linhas de 0,22 m.

Durante a condução do experimento que se iniciou a partir de 2016, após a colheita da lavoura de soja, sempre tinha uma pastagem de *Urochloa brizantha* semeada no intuito de impedir que o solo ficasse exposto e assim formar palhada e obter um bom residual para cultura subsequente (soja).

5.4 Avaliações do experimento

5.4.1 Análise química de solo

Em outubro de 2016, 2017 e 2018, após a dessecação da braquiária e antes da semeadura da soja da safra 2016/2017 e 2017/2018, foram coletadas amostras de solo nas camadas de 0,00-0,10; 0,10-0,20; 0,20-0,40 e 0,40-0,60 m, em cada repetição, totalizando em 96 amostras. Essas amostras foram acondicionadas em caixas de papel devidamente identificadas e encaminhadas para o laboratório de análise química de solos da Unoeste, para determinação dos atributos pH, H+Al, Al, P, S, K, Ca, Mg, , B, Cu, Fe, Mn, Zn) de acordo com as metodologias descritas e realizadas por Raij *et al.* (2001)

Figura 4 – Material utilizado na coleta das amostras de solo, com suas respectivas profundidades.



Fonte: Feba, L.T

Figura 5 – Coleta de amostras de solo com a sonda.



Fonte: Feba, L.T

Figura 6 – Solo coletado e colocados nos respectivos baldes para homogeneização.



Fonte: Feba, L.T

Figura 7 - Peneira usada na maceração do solo foi de 2 mm.



Fonte: Feba, L.T

Figura 8 – Material usado no preparo do solo para que em seguida fosse analisado pelo laboratório.



Fonte: Feba, L.T

5.4.2 Análise de tecido vegetal

Durante o ciclo da cultura da soja foram coletadas amostras contendo folhas com pecíolo do estágio fisiológico R1, eram 30 por parcela. As amostras foram encaminhadas para o laboratório de tecido vegetal da Unoeste. As folhas foram lavadas agitando-as por alguns segundos em água contendo um pouco de detergente; em seguida foram enxaguadas com água destilada, em porções sucessivas, para remover todo o detergente, sendo a seguir colocadas sobre papel absorvente. As amostras foram colocadas em sacos de papel e postas a secar em estufa com circulação forçada de ar, com temperatura a 65°C, até atingir massa constante.

Em seguida esses materiais tiveram a massa seca determinada e o resultado convertido em Mg ha^{-1} . Finalmente, as amostras foram moídas em moinho de aço inoxidável, para evitar a contaminação da amostra principalmente por Fe, Zn e Cu, passando a amostra em peneiras de 1 mm de malha em moinho tipo Wiley, e encaminhadas para a realização da análise de tecido vegetal, segundo metodologia descrita por Malavolta *et al.* (1987), para a de determinação dos nutrientes, para a

determinação de K; Ca; Mg; S. Estes procedimentos foram repetidos durante as duas safras do experimento (Figuras 9).

Figura 9 - Amostras de tecido vegetal da soja para análise.



Fonte: Feba, L.T



Fonte: Feba, L.T



Fonte: Feba, L.T

5.4.3 Produtividade da soja

As plantas foram colhidas com a máquina colhedora de Cereais Jumil JM390, e a área colhida de cada repetição da parcela foi de 9 m², sendo 4 linhas (0,45 m) de 5 m. Após esta operação, os grãos foram pesados e foi calculada a produtividade de grãos, em kg ha⁻¹, convertidos para teor de água de 130 g kg⁻¹.

Figura 10 – Semeadura e germinação da soja.



Fonte: Feba, L.T



Fonte: Feba, L.T



Fonte: Feba, L.T



Fonte: Feba, L.T



Fonte: Feba, L.

Figura 11 – Produtividade da soja.



Fonte: Feba, L.T



Fonte: Feba, L.T



Fonte: Feba, L.T



Fonte: Feba, L.T

Figura 12 – Colheita da soja.



Fonte: Feba, L.T



Fonte: Feba, L.T

5.5 Análise estatística

Os dados foram submetidos à análise de variância e, em caso de efeito significativo para doses de calcário e gesso, foi realizada a análise de regressão (linear ou polinomial) para verificar o efeito das doses de calcário em superfície. Já no caso de efeito significativo para as doses de gesso superficial, os dados foram comparados pelo teste de Tukey ($P \leq 0,05$), por meio do software Sisvar (FERREIRA, 2010).

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 pH

Na camada de 0,0 a 0,10 m (Figura 13) no tratamento controle, obteve-se um pequeno aumento de pH à medida que foi colocado calcário no sistema, apesar desse tratamento ter sido realizado somente em 2014, o calcário ainda estava reagindo nos anos de 2016, 2017 e 2018, conforme aumentavam-se as doses, sendo assim o aumento do pH diretamente proporcional ao aumento das doses. Foi necessária uma aplicação em torno de 2,0 a 4,0 Mg ha⁻¹ de calcário para elevar o pH acima de 5,0. As concentrações tóxicas do alumínio solúvel nos solos, que influenciam negativamente o crescimento das culturas, estas podem ser evitadas com a adição de calcário, mantendo assim, o pH acima de 5,0 (KANDIAH, 1985). A ação da calagem sem incorporação pode ficar restrita à camada superficial de solos ácidos, pois os ânions básicos provenientes da dissolução do calcário (OH⁻ e HCO³⁻) se movimentam por fluxo de massa para as camadas mais profundas do solo, onde reagem com cátions ácidos (H⁺, Fe²⁺, Al³⁺ e Mn²⁺), fazendo com que as reações de alcalinização sejam cessadas (MIYAZAWA *et al.*, 2002).

Podemos salientar ainda que, a aplicação do calcário foi superficial, e este foi solubilizado com a água, e tanto o calcário quanto o Ca²⁺ e o Mg²⁺, desceram no perfil pelos poros do solo, logo quanto maior a porosidade natural deste e porosidade biológica (decomposição das raízes), maior será o deslocamento de água e de partículas. Dessa forma, acredita-se que por ser um argissolo, contribuiu com esse deslocamento até a camada 0,20 a 0,40 m. Desse modo, a correção do subsolo só

ocorreria efetivamente após a neutralização total desses cátions ácidos, o que acontece a pH acima de 5,6. Como neste trabalho o pH das camadas mais profundas do solo estava aproximadamente 4,5, não se observou grandes efeitos de correção subsuperficial além dos 40 cm superficiais pela ação isolada do calcário (Figura 16), mas como manteve o pH, pode-se dizer que o calcário desceu sim em profundidade corrigindo o pH do subsolo.

Considerando a baixa solubilidade do calcário e a grande necessidade para corrigir a acidez do solo em subsuperfície, essa contribuição do calcário para as camadas mais profundas deve ser pequena (RHEINHEIMER *et al.*, 2000). Em relação ao tratamento com ou sem gesso agrícola, mesmo que aparente na Figura 8, no ano de 2016, o gesso pode ter sido solubilizado, entrou sulfato no solo, se dissociou em cálcio e sulfato e esse sulfato juntou-se ao cálcio novamente, descendo em perfil. O gesso ainda reagiu, teve uma diferença significativa quando comparado o controle com a dose 4 Mg ha⁻¹, porém nos outros anos e nem nas outras profundidades ele não apareceu, logo, ainda é importante esclarecer, que o ânion sulfato não atua como “receptor de prótons”. Assim, o gesso não neutraliza a acidez. Dessa forma, sua reação na camada superficial do solo é tão somente a de troca de cátions (RAIJ, 2007). De um modo geral, nas Figuras que tiveram resultado significativo para o aumento do pH, todas as demais doses de calcário aumentaram o pH com relação ao controle sendo, porém, a dose 8 Mg ha⁻¹, foi onde se obteve melhores resultados de pH.

Figura 13 - Análise química do pH no solo em amostras coletadas em 2016 (a), 2017 (b) e 2018 (c) na camada de 0,00 a 0,10 m de um ARGISSOLO Vermelho distrófico, em função de doses de calcário com e sem gesso agrícola aplicadas superficialmente em janeiro/2014.

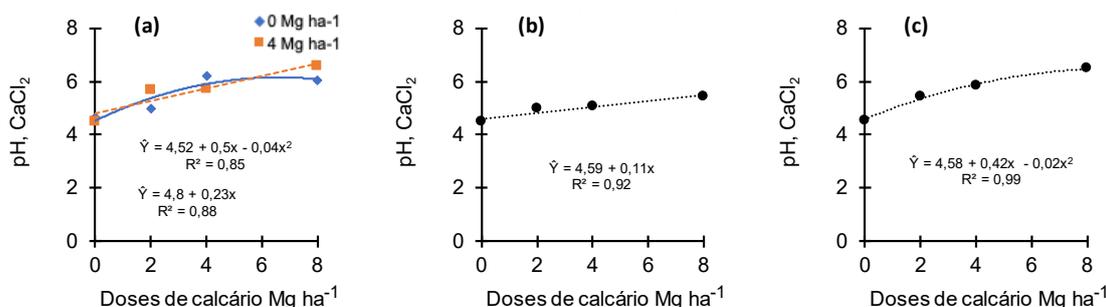


Figura 14 - Análise química do pH no solo em amostras coletadas em 2016 (a), 2017 (b) e 2018 (c) na camada de 0,10 a 0,20 m de um ARGISSOLO Vermelho distrófico, em função de doses de calcário com e sem gesso agrícola aplicadas superficialmente em janeiro/2014.

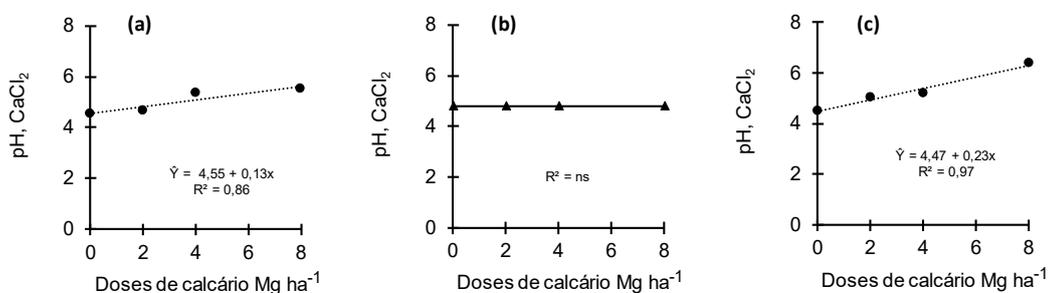


Figura 15 - Análise química do pH no solo em amostras coletadas em 2016 (a), 2017 (b) e 2018 (c) na camada de 0,20 a 0,40 m de um ARGISSOLO Vermelho distrófico, em função de doses de calcário com e sem gesso agrícola aplicadas superficialmente em janeiro/2014.

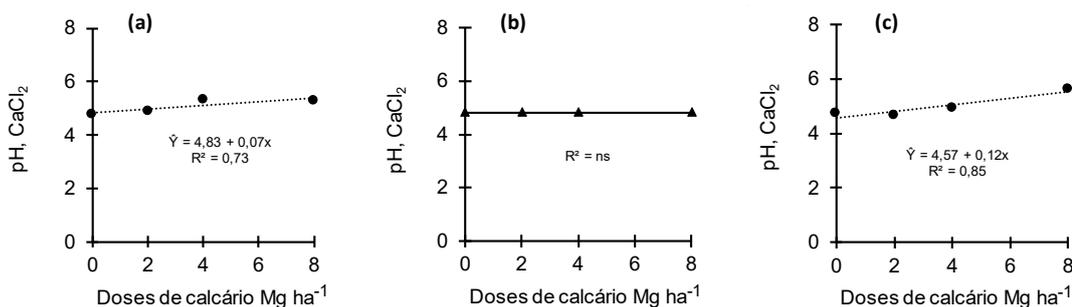
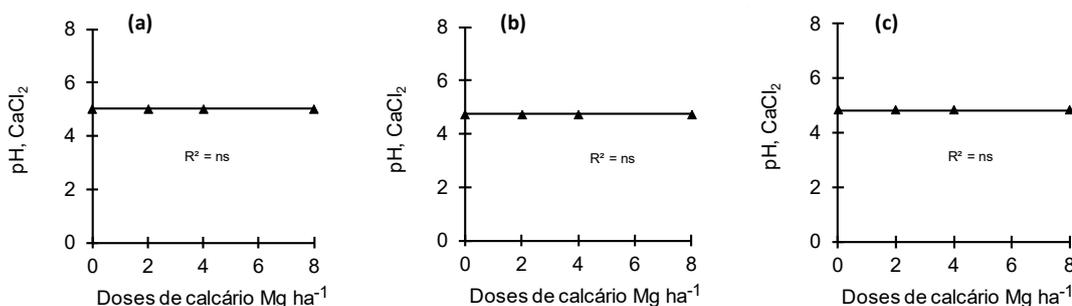


Figura 16 - Análise química do pH no solo em amostras coletadas em 2016 (a), 2017 (b) e 2018 (c) na camada de 0,40 a 0,60 m de um ARGISSOLO Vermelho distrófico, em função de doses de calcário com e sem gesso agrícola aplicadas superficialmente em janeiro/2014.



6.2 Alumínio (Al^{3+})

O teor de Al^{3+} observado no controle já era baixo, em torno de $1 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ (Figura 17), provavelmente isso aconteceu por essa não ser uma condição de soja de 1º ano e não ter sido realizada nenhuma correção na área que não fosse apenas em 2014. Havia uma condição inicial de solo em que o Al estava presente, depois a área foi dividida e corrigida conforme os devidos tratamentos. Já nas Figuras (17a e 18a e b) que os resultados foram obtidos a partir de interações entre tratamentos de calcário e de gesso agrícola (0 e 4 Mg ha^{-1}), pôde-se perceber que o processo de reação do calcário indisponibilizou o Al^{3+} , liberando a OH^- no meio que, ao se juntar com o H^+ , formou H_2O , por outro lado a OH^- que sobrou se uniu ao Al^{3+} , formando $\text{Al}(\text{OH})_3$.

Nas camadas mais profundas (Figuras 19b e 20b) o tratamento de gesso agrícola auxiliou na descida do calcário promovendo a redução do teor de Al^{3+} que, mesmo passados 48 meses da única aplicação de corretivo realizada neste solo, o teor de Al^{3+} era de apenas $0,5 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ embora o gesso seja conhecido por minimizar a ação do Al^{3+} , pois o sulfato se une a ele, formando o $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$. Uma vez na solução do solo, o íon Ca^{2+} oriundo do gesso pode reagir no complexo de troca, deslocando assim Al^{3+} , K^+ , Mg^{2+} para a solução do solo, que podem, por sua vez, reagir com o SO_4^{2-} formando AlSO_4^+ e os pares iônicos neutros: K_2SO_4^0 e MgSO_4^0 , além do CaSO_4^0 , os quais apresentam grande mobilidade no perfil (PAVAN; BINGHAM; PRATT, 1984). Em outras palavras, o gesso reage com o Al^{3+} precipitando-o (ZAMBROSI *et al.*, 2007) e fazendo com que ele fique em formas menos tóxicas para as plantas (AlSO_4^+), além de aumentar os teores de Ca^{2+} e SO_4^{2-} no subsolo (NEIS *et al.*, 2010). Ainda, sua ação ocorre em maior profundidade que a do calcário, pois movimenta-se cerca de 150 vezes mais (MASCHIETTO, 2009).

A redução do Al^{3+} acontece mesmo através da utilização do calcário, já o gesso agrícola, permite a reação do Al^{3+} , de forma com que neutralize a atividade deste em profundidade como mostra nas Figuras 18 e 19, independente dos anos avaliados, os teores de Al^{3+} diminuíram de modo geral, lembrando que, os tratamentos foram aplicados de 36 até 60 meses antes do resultado dessas análises de solo, ou seja, mesmo após tanto tempo, os tratamentos ainda apresentavam reações significativas. Segundo Santos *et al.* (2010) após a aplicação de gesso agrícola ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), não se espera a elevação do pH, mas ocorre a diminuição do teor de

Al^{+3} em profundidade, que pode eliminar também a toxidez de sódio, além de ser fonte de dois macronutrientes secundários: Ca^{2+} e S.

Já na Figura 20a, pôde-se perceber que nem mesmo a dose com 8 Mg ha^{-1} de calcário foi capaz de neutralizar o Al^{+3} , demonstrando assim, um possível impedimento químico em profundidade, que provavelmente ocorreu por ser uma camada de subsuperfície muito distante para que houvesse reação de neutralização do Al^{+3} pelo calcário. Além disso, já haviam se passado 60 meses após a aplicação superficial desses tratamentos no solo, sendo assim, um forte indício da necessidade em refazer as correções.

Figura 17 - Análise química da Al^{+3} no solo em amostras coletadas em 2016 (a), 2017 (b) e 2018 (c) na camada de 0,00 a 0,10 m de um ARGISSOLO Vermelho distrófico, em função de doses de calcário com e sem gesso agrícola aplicadas superficialmente em janeiro/2014.

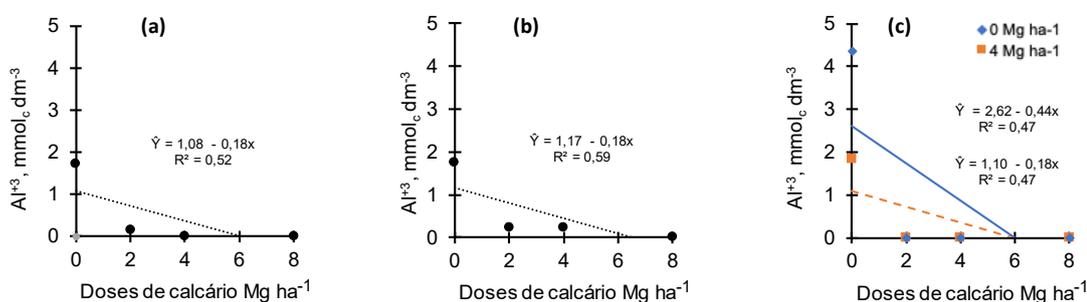


Figura 18 - Análise química da Al^{+3} no solo em amostras coletadas em 2016 (a), 2017 (b) e 2018 (c) na camada de 0,10 a 0,20 m de um ARGISSOLO Vermelho distrófico, em função de doses de calcário com e sem gesso agrícola aplicadas superficialmente em janeiro/2014.

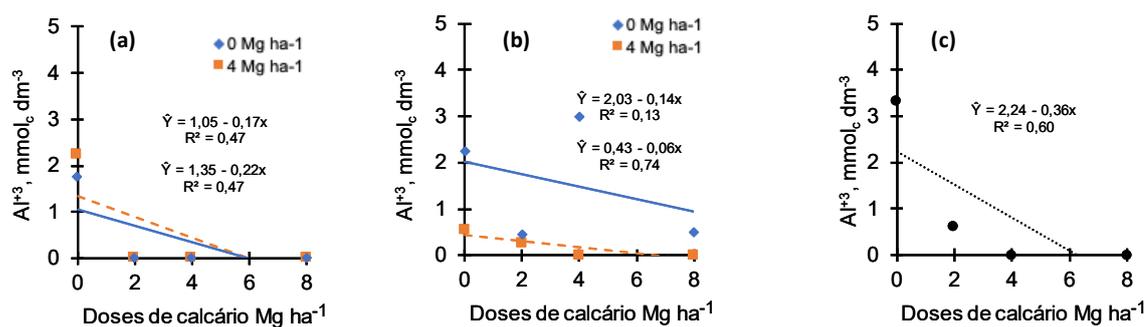


Figura 19 - Análise química da Al^{3+} no solo em amostras coletadas em 2016 (a), 2017 (b) e 2018 (c) na camada de 0,20 a 0,40 m de um ARGISSOLO Vermelho distrófico, em função de doses de calcário com e sem gesso agrícola aplicadas superficialmente em janeiro/2014.

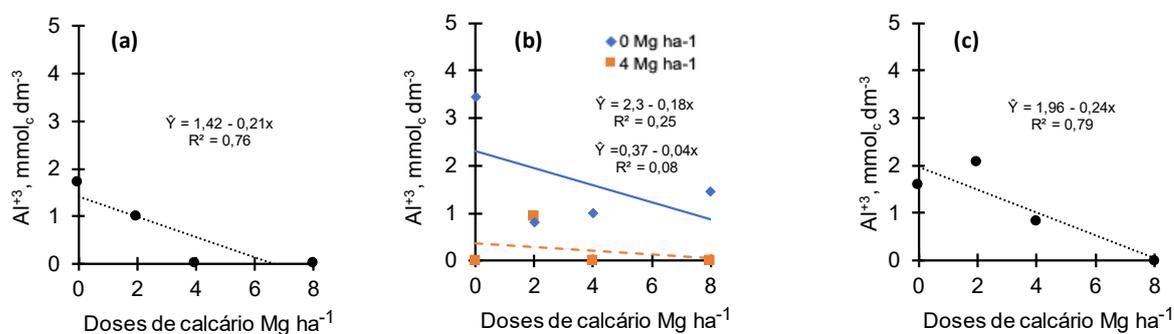
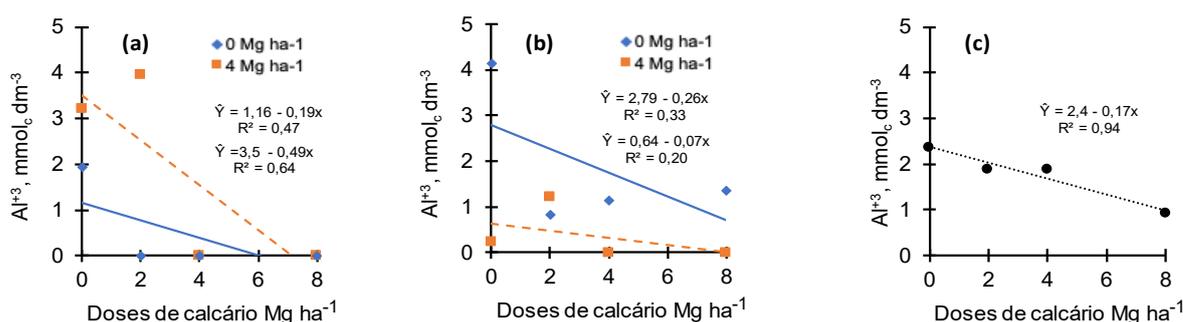


Figura 20 - Análise química da Al^{3+} no solo em amostras coletadas em 2016 (a), 2017 (b) e 2018 (c) na camada de 0,40 a 0,60 m de um ARGISSOLO Vermelho distrófico, em função de doses de calcário com e sem gesso agrícola aplicadas superficialmente em janeiro/2014.



6.3 Cálcio (Ca²⁺)

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. Essa função aliada à baixa mobilidade natural do Ca²⁺ no perfil do solo, baixa mobilidade na planta impedindo que tecidos mais velhos supridos de Ca²⁺ atendam a demanda de tecidos novos em formação, além da absorção quase exclusiva na coifa da raiz, faz com que esse deslocamento do Ca²⁺ em profundidade, proporcionado pelo gesso, seja importante no aumento da tolerância das plantas a períodos de deficiência hídrica. O manejo que foi adicionado 8 Mg ha⁻¹, pode ter quase o mesmo teor de Ca²⁺ e Mg²⁺ em superfície, porém mais Ca²⁺ e Mg²⁺ podem ter sido distribuídos no perfil e essa distribuição contribui muito para o crescimento radicular.

Na Figura 21, independente do ano analisado, os teores de Ca²⁺ elevaram-se conforme aumentavam as doses de calcário, isso já era de se esperar em vista de que a calagem disponibiliza Ca²⁺ no sistema. O mesmo ocorreu na profundidade 0,10 a 0,20 m (Figura 22), porém o teor inicial de Ca²⁺ (controle) era menor (8 mmol_c dm⁻³) em relação ao tratamento controle da profundidade 0,0 a 0,10 m com 12 mmol_c dm⁻³.

O Ca²⁺, em razão da sua baixa mobilidade no solo, acumulou-se nas camadas superficiais independentemente dos anos. Em subsuperfície (Figura 23a e 23b) o tratamento com gesso agrícola, proporcionou incremento desse nutriente, diferindo principalmente nas maiores profundidades, demonstrando que esse elemento se deslocou no solo pela ação desse insumo. Caires *et al.* (2001), Sousa *et al.*, (2005) e Soratto e Crusciol (2008) também atribuíram a esse efeito os resultados com a aplicação de gesso que no presente trabalho, ocorreu com doses elevadas de

calcário. Para o Ca^{2+} , valores entre $0,01\text{-}2 \text{ mmol}_e \text{ dm}^{-3}$ são considerados críticos (MALAVOLTA, 2006), portanto, teores de Ca^{2+} em subsuperfície superiores a $4 \text{ mmol}_e \text{ dm}^{-3}$, são considerados adequados para as espécies cultivadas, conforme o manual de adubação e calagem de São Paulo (RAIJ *et al.*, 1996) este somente foram obtidos em profundidade com as maiores doses calcário e/ou combinadas com gesso agrícola 4 Mg ha^{-1} . (Figura 23a e 23b).

Os teores de Ca^{2+} de um modo geral comparado com os de Mg^{2+} são maiores em profundidade. O teor médio de Ca^{2+} no solo é de $7 \text{ mmol}_e \text{ dm}^{-3}$, os resultados começaram a se mostrar inferior a isso nas Figuras 23 e 24, ou seja, o teor diminuiu em subsuperfície, o que era de se esperar, já que a aplicação dos tratamentos, que proporcionaria aumento dos teores, havia ocorrido apenas em janeiro de 2014. O Sulfato carrega mais Ca^{2+} em profundidade do que Mg^{2+} , devido a quantidade de Ca^{2+} no sistema ser muito maior que a de Mg^{2+} , portanto a facilidade que o sulfato tem de se ligar ao Ca^{2+} e deslocá-lo em profundidade é mais elevada.

Figura 21 - Análise química do Ca^{2+} no solo em amostras coletadas em 2016 (a), 2017 (b) e 2018 (c) na camada de 0,00 a 0,10 m de um ARGISSOLO Vermelho distrófico, em função de doses de calcário com e sem gesso agrícola aplicadas superficialmente em janeiro/2014.

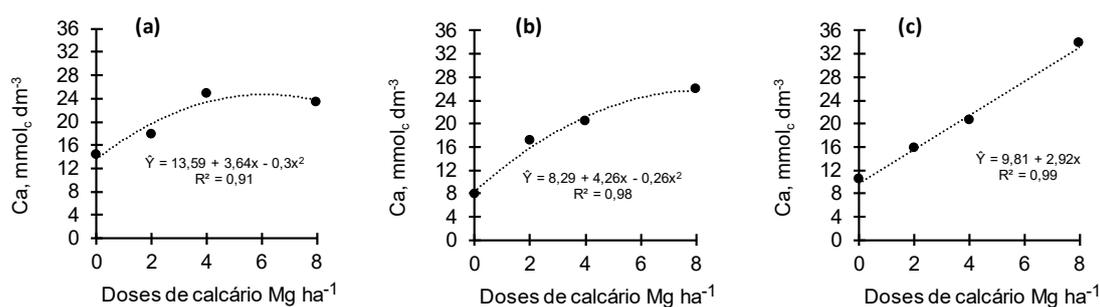


Figura 22 - Análise química do Ca^{2+} no solo em amostras coletadas em 2016 (a), 2017 (b) e 2018 (c) na camada de 0,10 a 0,20 m de um ARGISSOLO Vermelho

distrófico, em função de doses de calcário com e sem gesso agrícola aplicadas superficialmente em janeiro/2014.

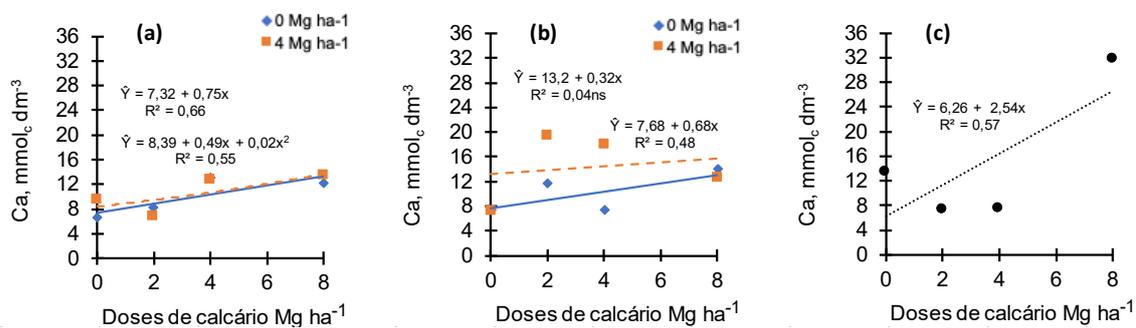


Figura 23 - Análise química do Ca²⁺ no solo em amostras coletadas em 2016 (a), 2017 (b) e 2018 (c) na camada de 0,20 a 0,40 m de um ARGISSOLO Vermelho distrófico, em função de doses de calcário com e sem gesso agrícola aplicadas superficialmente em janeiro/2014.

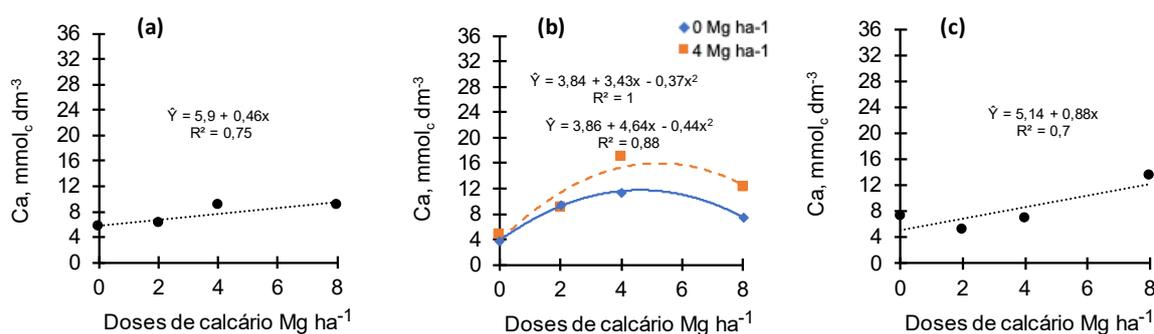
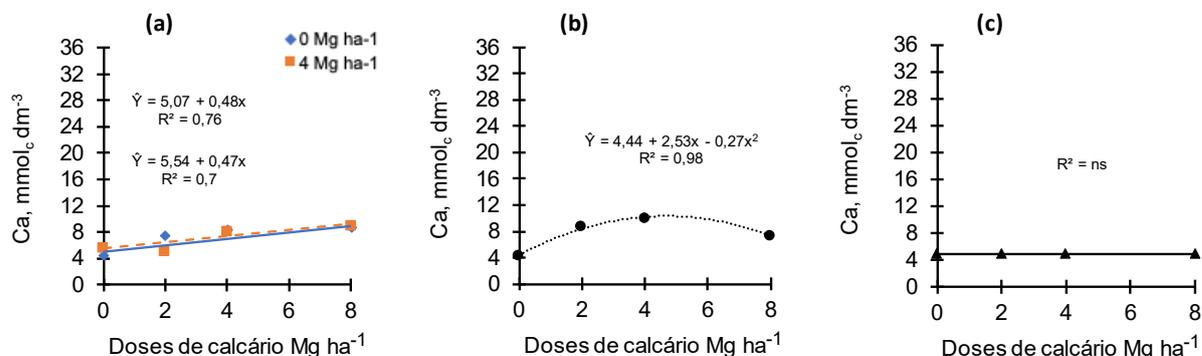


Figura 24 - Análise química do Ca^{2+} no solo em amostras coletadas em 2016 (a), 2017 (b) e 2018 (c) na camada de 0,40 a 0,60 m de um ARGISSOLO Vermelho distrófico, em função de doses de calcário com e sem gesso agrícola aplicadas superficialmente em janeiro/2014.



6.4 Magnésio (Mg^{2+})

De um modo geral, nas camadas superficiais, os teores de Mg^{2+} foram maiores conforme aumentava a aplicação das doses de calcário. A soja necessita de no mínimo $8 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de Mg^{2+} . Se observar nas Figuras 25a e 25c quando se adiciona 2 Mg ha^{-1} de calcário eleva-se o Mg^{2+} para $12 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$, a composição do calcário é de carbonato de Ca^{2+} e Carbonato de Mg^{2+} , logo, o aumento dos teores de Mg^{2+} trocável em profundidade, em relação ao Ca^{2+} trocável, provavelmente está relacionado ao fato de o Mg^{2+} ser menos fortemente retido no complexo de troca, por ter um maior raio hidratado e menor eletronegatividade, possibilita consequentemente uma maior movimentação no perfil. Logo, movimento vertical de Mg^{2+} no perfil do solo é benéfico à nutrição das plantas, desde que o teor crítico para a cultura seja mantido na camada superficial (DALLA NORA *et al.*, 2013).

O carbonato de Mg^{2+} é uma molécula muito “dura”, fazendo com que não se dissolva facilmente em água, portanto se colocar uma dose muito baixa de calcário, disponibiliza mais cálcio e menos Mg^{2+} , logo o Mg^{2+} que entra via calcário ele não é totalmente dissolvido, não entra na mesma proporção e mesma velocidade junto com o cálcio, então, consequentemente o Mg^{2+} fica mais baixo e assim teoricamente atende a necessidade da fertilidade do solo, mas não vai atender a necessidade da planta. Ao aplicarmos 2 Mg ha^{-1} de calcário no solo, pode ser que não supra a necessidade da soja, portanto fazer a recomendação da necessidade de calagem pela

fórmula N.C (Mg ha^{-1}) = $(V_2 - V_1) \cdot \text{CTC} / 100$, de acordo com os dados da análise de solo inicial do experimento, pode não ser o suficiente.

Na camada de 0,20 a 0,40 m é possível notar a redução dos teores de Mg^{2+} , em todos os tratamentos, em contrapartida na profundidade de 0,10 a 0,20 m, o teor de Mg^{2+} foi de até 24 mmolc dm^{-3} . O uso de gesso também traz mobilização de magnésio de camadas superficiais para camadas mais profundas do solo (CAIRES *et al.*, 1999; CAIRES *et al.*, 2004; FOLONI *et al.*, 2008), sendo importante adotar estratégias para reduzir ou compensá-la, principalmente quando as doses de gesso são elevadas e os teores iniciais de Mg^{2+} estão próximos do nível crítico na superfície. Nesse sentido, pressupõem-se que o uso de calcário dolomítico pode garantir maiores teores de Mg^{2+} em superfície (CAIRES *et al.*, 2003). Caires *et al.* (1998) observaram movimentação de magnésio provocadas pelo uso de gesso na presença de calcário. Nas Figuras 25b, 26b e 27b a aplicação de do gesso agrícola (4 Mg ha^{-1}) contribuiu com a redução do teor de Mg^{2+} , ocorrendo a queda dos teores de Mg^{2+} quando comparado ao tratamento com doses de calcário combinadas sem o gesso agrícola. Neste caso, há um forte indicativo de efeito do sulfato adicionado pelo gesso agrícola na formação de um par iônico com o Mg^{2+} e, portanto, proporcionando a lixiviação do mesmo em profundidade. sobre a movimentação desse nutriente. A alta concentração de Ca^{2+} no solo ocasionada tanto pela aplicação de gesso quanto de calcário, favorece o deslocamento do Mg^{2+} dos sítios de troca, podendo formar par iônico com o SO_4^{2-} ou ser lixiviado na forma de íons Mg^{2+} , sendo esta a forma preferencial de deslocamento no perfil (ZAMBROSI *et al.*, 2007).

Figura 25 - Análise química do Mg^{2+} no solo em amostras coletadas em 2016 (a), 2017 (b) e 2018 (c) na camada de 0,00 a 0,10 m de um ARGISSOLO Vermelho distrófico, em função de doses de calcário com e sem gesso agrícola aplicadas superficialmente em janeiro/2014.

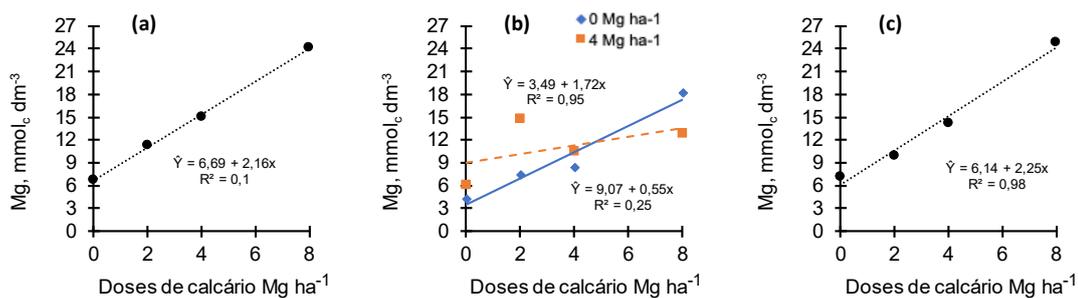


Figura 26 - Análise química do Mg^{2+} no solo em amostras coletadas em 2016 (a), 2017 (b) e 2018 (c) na camada de 0,10 a 0,20 m de um ARGISSOLO Vermelho distrófico, em função de doses de calcário com e sem gesso agrícola aplicadas superficialmente em janeiro/2014.

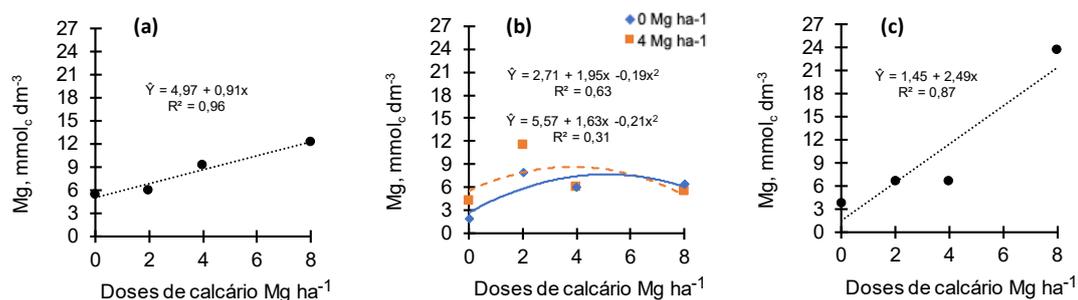


Figura 27 - Análise química do Mg^{2+} no solo em amostras coletadas em 2016 (a), 2017 (b) e 2018 (c) na camada de 0,20 a 0,40 m de um ARGISSOLO Vermelho distrófico, em função de doses de calcário com e sem gesso agrícola aplicadas superficialmente em janeiro/2014.

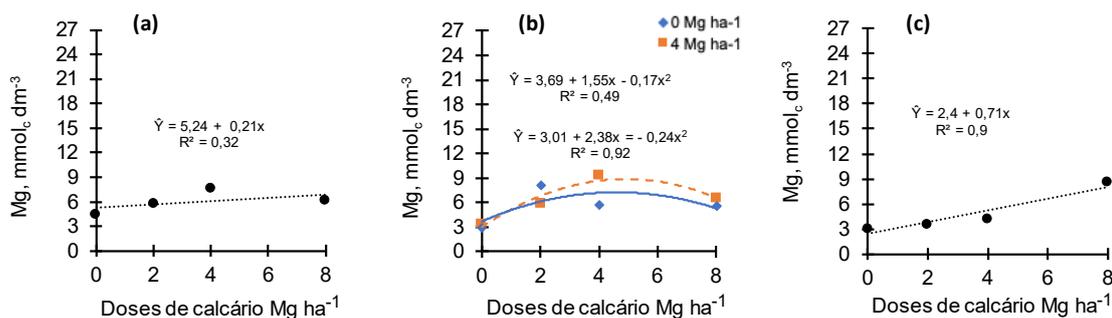
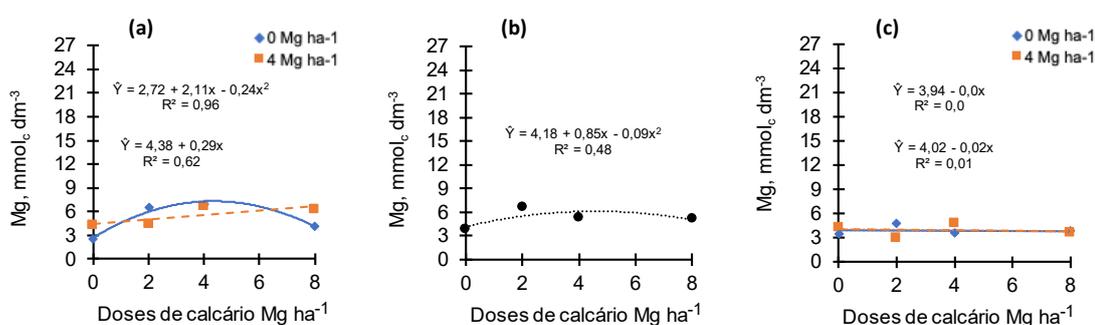


Figura 28 - Análise química do Mg^{2+} no solo em amostras coletadas em 2016 (a), 2017 (b) e 2018 (c) na camada de 0,40 a 0,60 m de um ARGISSOLO Vermelho distrófico, em função de doses de calcário com e sem gesso agrícola aplicadas superficialmente em janeiro/2014.



6.5 Potássio (K⁺)

Nas camadas superficiais (Figuras 29b e 30), conforme aumentavam-se as doses de calcário no solo maior era a tendência de lixiviação, a melhor dose para que possivelmente evitasse esta lixiviação, foi a de 2 Mg ha⁻¹ como mostra nos resultados de maneira geral, sendo o maior teor de K⁺, quando comparado as demais doses de calcário, assim, uma vez que a calagem promove o aumento das concentrações de Ca⁺² e Mg⁺² do solo, pode reduzir a absorção de K⁺ pelas raízes e provocar sua deficiência (GOEDERT *et al.*, 1975). No entanto, a calagem favorece a manutenção do teor de K⁺ trocável do solo, pois aumenta a CTC efetiva e reduz as perdas por lixiviação. Em certos casos, pode aumentar a disponibilidade de K⁺ às plantas mais do que a de Ca⁺² e Mg⁺², devido ao menor grau de atração do K⁺ pelas cargas negativas do solo (BARBER; HUMBERT, 1963). A redução do teor de K⁺ ocorreu também quando houve interação das doses de calcário com a dose de 4 Mg ha⁻¹ (Figuras 29b, 31a e 32a) de gesso agrícola. Deve-se tomar muito cuidado com doses elevadas de gesso, principalmente em solos arenosos, pois com isso aumenta-se a quantidade de Ca⁺² no sistema, logo esse ocupa mais cargas nos colóides e atrapalha a adsorção do K⁺ às mesmas, assim, o K⁺ fica mais disponível em solução e a água da chuva pode carregá-lo, principalmente em solos arenosos, mas também pode ocorrer a formação de um par iônico entre o sulfato e o K⁺, conforme mencionaram

Moraes *et al.* (1998) e Yamada *et al.* (2007), indicando que a aplicação de altas doses de gesso agrícola, acima de 2 Mg ha⁻¹ promovem a percolação do potássio para as camadas subsuperficiais do solo, principalmente devido à formação do par iônico com os íons SO₄²⁻ (K₂SO₄⁰), aumentando assim, a mobilidade no perfil do solo. Este fato é importante, pois é conhecido que os solos tropicais brasileiros apresentam baixo teor natural de potássio trocável (BENITES *et al.*, 2010) isso pôde ser comprovado nas Figuras 31a e 32a, no ano de 2016, já nos anos seguintes provavelmente não ocorreu, pois, o efeito do gesso agrícola foi reduzido ao longo dos anos.

Figura 29 - Análise química do K⁺ no solo em amostras coletadas em 2016 (a), 2017 (b) e 2018 (c) na camada de 0,00 a 0,10 m de um ARGISSOLO Vermelho distrófico, em função de doses de calcário com e sem gesso agrícola aplicadas superficialmente em janeiro/2014.

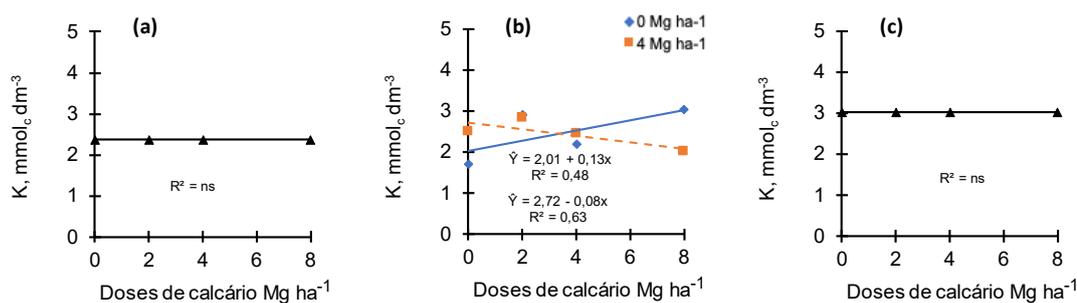


Figura 30 - Análise química do K⁺ no solo em amostras coletadas em 2016 (a) e 2017 (b) na camada de 0,10 a 0,20 m de um ARGISSOLO Vermelho distrófico, em função de doses de calcário com e sem gesso agrícola aplicadas superficialmente em janeiro/2014.

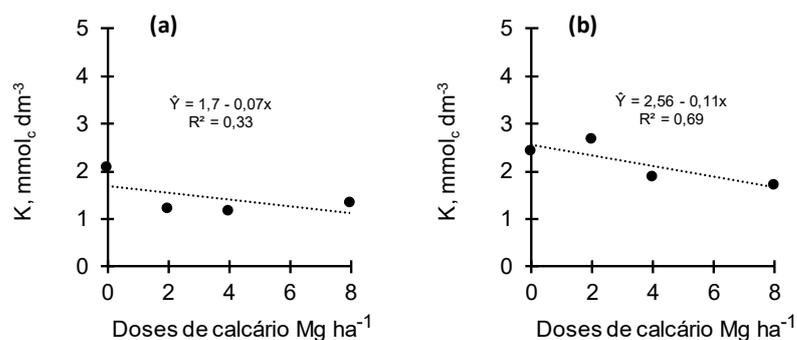


Tabela 3 - Análise química do potássio (K^+) no solo em amostra coletada em 2018 na camada de 0,10 a 0,20 m de um ARGISSOLO Vermelho distrófico, em função de doses de calcário com e sem gesso agrícola aplicadas superficialmente em janeiro/2014.

Tratamento	
Gesso (Mg ha ⁻¹)	K (mg dm ⁻³)
0	2,06b
4	2,63a
F	36,91
P>F	0,03
CV%	21,77
CV%	9,88
CV%	18,9

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem pelo teste de Tukey ($P \leq 0,05$).

Figura 31 - Análise química do K^+ no solo em amostras coletadas em 2016 (a), 2017 (b) e 2018 (c) na camada de 0,20 a 0,40 m de um ARGISSOLO Vermelho distrófico, em função de doses de calcário com e sem gesso agrícola aplicadas superficialmente em janeiro/2014.

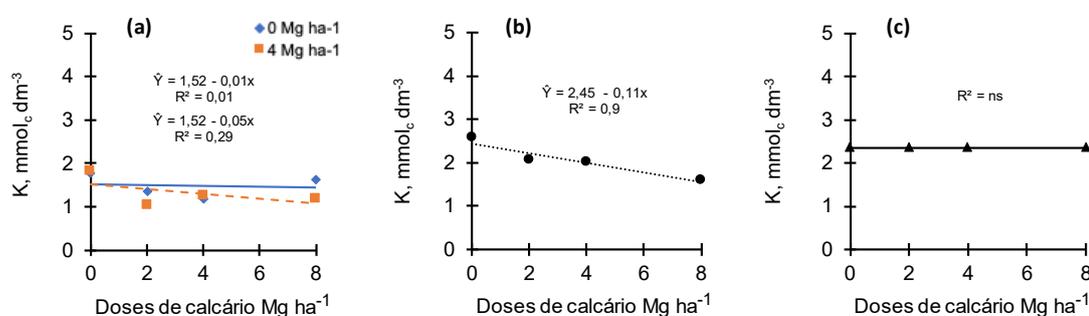
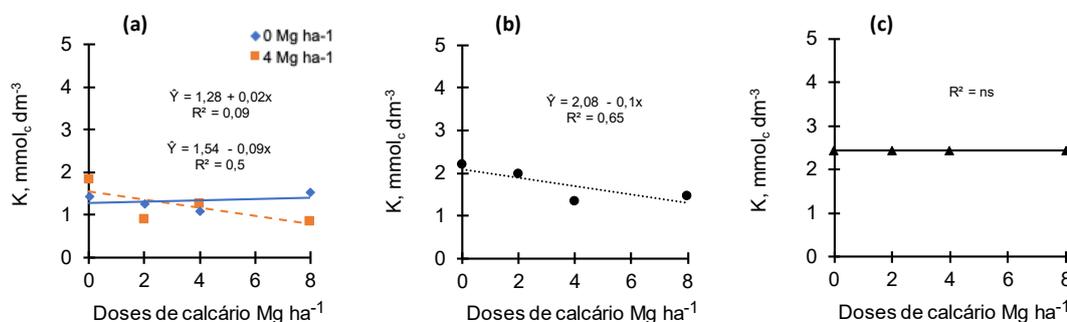


Figura 32 - Análise química do K^+ no solo em amostras coletadas em 2016 (a), 2017 (b) e 2018 (c) na camada de 0,40 a 0,60 m de um ARGISSOLO Vermelho distrófico em função de doses de calcário com e sem gesso agrícola aplicadas superficialmente em janeiro/2014.



6.6 Enxofre (S)

Ao analisar os resultados obtidos em superfície na Figura 33, pôde-se perceber o quão móvel é o gesso agrícola no solo, principalmente em ambientes que receberam elevadas doses de calcário. Esta situação permite o deslocamento de S no perfil, que ocorre na forma do par iônico, sulfato de cálcio (CaSO_4) deslocado, além disso, o S existente no solo é obtido a partir da ciclagem da matéria orgânica, ou seja, a palhada existente no solo, também pode se movimentar no perfil e ser perdido em profundidade, pois bactérias, por exemplo, do gênero *Thiobacillus*, presentes no solo, oxidam o S transformando-o em sulfato, que, por sua vez poderá se ligar ao Ca^{+2} ganhando mobilidade.

Na camada de 0,10 a 0,20 m (Figura 34) o S também desceu, porém, essa queda foi mais expressiva apenas em 2016 (Figura 34a), no ano de 2017 (Figura 34b) o efeito do elemento no solo foi se perdendo, conforme aumentavam-se as doses de calcário. Um fato muito importante observado no tratamento controle é que o S se manteve estável, não diminuiu nem aumentou. De maneira geral no ano de 2018, independente da profundidade, demonstrou uma tendência de perda no efeito do teor de S no solo.

Figura 33 - Análise química do enxofre (S) no solo em amostras coletadas em 2016 (a) e 2017 (b) na camada de 0,00 a 0,10 m de um ARGISSOLO Vermelho

distrófico, em função de doses de calcário com e sem gesso agrícola aplicadas superficialmente em janeiro/2014.

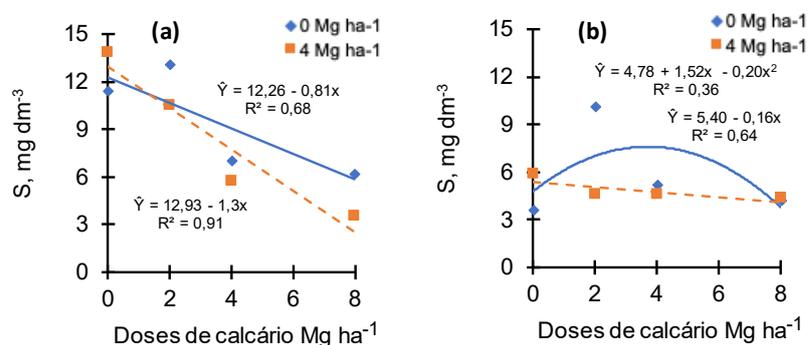


Tabela 4 - Análise química do enxofre (S) no solo em amostra coletada em 2018 na camada de 0,00 a 0,10 m de um ARGISSOLO Vermelho distrófico, em função de doses de calcário com e sem gesso agrícola aplicadas superficialmente em janeiro/2014.

Tratamento	S
Gesso	(mg dm ⁻³)
(Mg ha ⁻¹)	
0	4,82b
4	4,96a
F	27
P>F	0,03
CV%	10,21
CV%	1,45
CV%	10,16

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem pelo teste de Tukey ($P \leq 0,05$).

Figura 34 - Análise química do enxofre (S) no solo em amostras coletadas em 2016 (a), 2017 (b) e 2018 (c) na camada de 0,10 a 0,20 m de um ARGISSOLO Vermelho distrófico, em função de doses de calcário com e sem gesso agrícola aplicadas superficialmente em janeiro/2014.

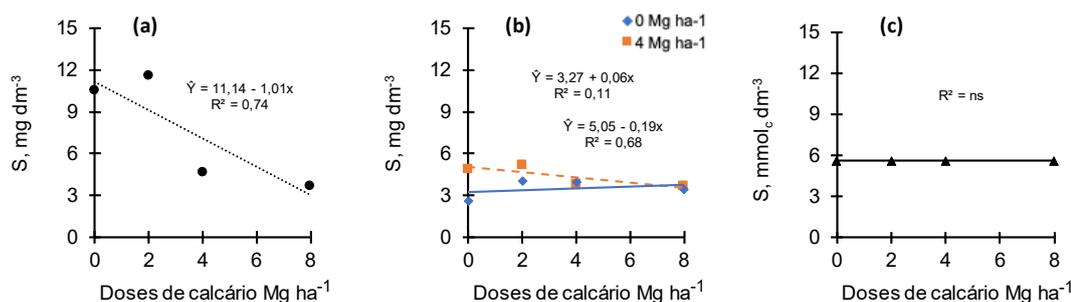


Figura 35 - Análise química do enxofre (S) no solo em amostras coletadas em 2016 (a), 2017 (b) e 2018 (c) na camada de 0,20 a 0,40 m de um ARGISSOLO Vermelho distrófico, em função de doses de calcário com e sem gesso agrícola aplicadas superficialmente em janeiro/2014.

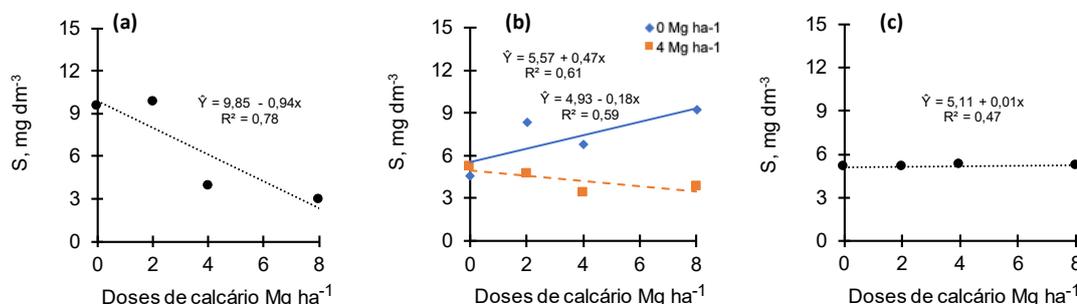


Figura 36 - Análise química do enxofre (S) no solo em amostras coletadas em 2016 (a) e 2017 (b) na camada de 0,40 a 0,60 m de um ARGISSOLO Vermelho distrófico, em função de doses de calcário com e sem gesso agrícola aplicadas superficialmente em janeiro/2014.

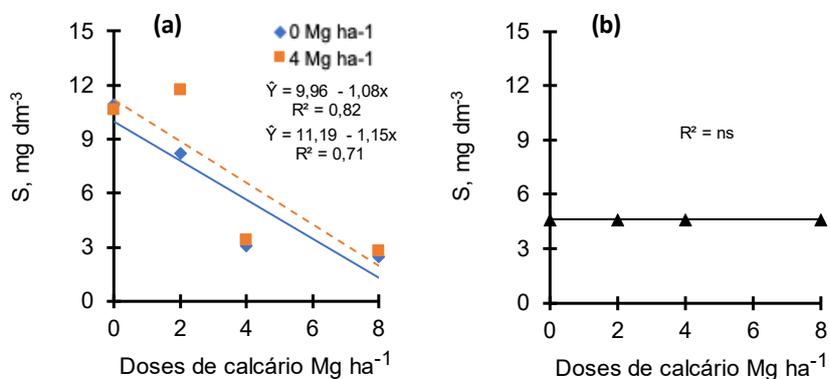


Tabela 5 - Análise química do enxofre (S) no solo em amostra coletada em 2018 na camada de 0,40 a 0,60 m de um ARGISSOLO Vermelho distrófico, em função de doses de calcário com e sem gesso agrícola aplicadas superficialmente em janeiro/2014.

Tratamento		S (mg dm ⁻³)
Gesso (Mg ha ⁻¹)		
0		5,67b
4		6,57a

F	138,86
P>F	0,01
CV%	17,87
CV%	3,06
CV%	17,62

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem pelo teste de Tukey ($P \leq 0,05$).

6.7 CTC

O aumento da CTC ocorreu conforme os teores de Ca^{+2} e Mg^{+2} porque estes elementos estão diretamente relacionados ao cálculo da CTC do solo. em condições ideais, o Ca^{+2} participa ocupando entre 50 a 65% das cargas presentes no complexo coloidal, o Mg^{+2} entre 10 a 20% e o K^{+} de 3 a 5%. Logo, as variações nos teores destas bases do solo serão traduzidas em reflexos na saturação por bases do solo (V%). Pôde-se observar que a CTC do solo aumentou na camada de 0,0 a 0,10 m e 0,10 a 0,20 m, após a aplicação de gesso agrícola e calcário (Figuras 37 e 38). Esse aumento é importante para a fertilidade do solo, pois proporciona aos colóides maior capacidade de reter cátions como o Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^{+} . Pelo fato dos carbonatos de cálcio e magnésio reagirem liberando hidroxilas, ocorre aumento do pH do solo e consequentemente aumenta a CTC efetiva. Porém, a reação do calcário ocorre muito próxima do local onde foi aplicado, pois seus cátions movimentam-se pouco e reagem rapidamente com os ácidos presentes no solo (ALLEONI *et al.*, 2005; SORATTO; CRUSCIOL, 2008).

Existem dois tipos de acidez nos solos, ativa e potencial. A acidez ativa se refere aos íons de H^{+} presentes da solução do solo, já a acidez potencial é a quantidade de H^{+} e Al^{+3} adsorvidos nos coloides do solo, seja da matriz mineral ou orgânica (LEPSCH, 2011). Portanto, quanto maior for a capacidade de troca de cátions (CTC), mais calcário será necessário para deslocar os íons mencionados anteriormente adsorvidos na superfície dos coloides e ocupar estas cargas com cátions básicos (Ca^{+2} e Mg^{+2}). Nas camadas de 0,20 a 0,40 m observou-se a estabilização da CTC, porque, a contribuição do Ca^{+2} e do Mg^{+2} em profundidade não foi suficiente para alteração significativa dos valores da CTC no solo (Figura 39). A CTC do solo é tradicionalmente calculada, então é uma somatória das bases ($\text{K}^{+} + \text{Ca}^{+2} + \text{Mg}^{+2}$) e ($\text{H} + \text{Al}^{3+}$), porém em subsuperfície, dependendo do tipo de solo, e

do manejo de culturas, há tendência de em profundidade ter também uma diminuição dos teores disponíveis de H^+ e Al^{3+} . Neste contexto, o que aconteceu foi que superficialmente, haviam maiores teores de Ca^{2+} e Mg^{+2} , H^+ em menor disponibilidade e Al^{3+} neutralizado. Em profundidade a acidez geralmente é maior devido a baixa solubilidade do calcário que dificulta a correção no perfil do solo, porém o teor Al^{+3} disponível é menor, Ca^{+2} , Mg^{+2} e K^+ baixos também, existindo uma estabilização como mencionada anteriormente. Um fato importante é que se observou a CTC entre 25 - 40 $mmol_c dm^{-3}$ na camada de 0,20 a 0,40 m, além de ser uma camada que possui um pouco mais de argila (Tabela 2) que, contribui no aumento das cargas.

Figura 37 - Análise química da CTC no solo em amostras coletadas em 2016 (a), 2017 (b) e 2018 (c) na camada de 0,00 a 0,10 m de um ARGISSOLO Vermelho distrófico, em função de doses de calcário com e sem gesso agrícola aplicadas superficialmente em janeiro/2014.

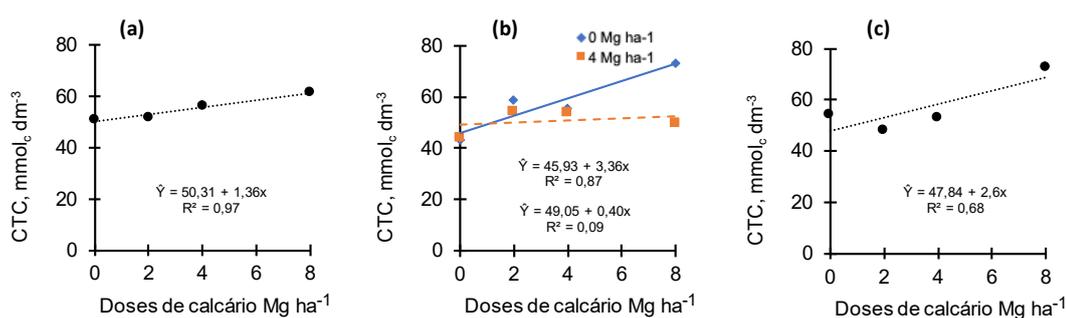


Figura 38 - Análise química da CTC no solo em amostras coletadas em 2016 (a), 2017 (b) e 2018 (c) na camada de 0,10 a 0,20 m de um ARGISSOLO Vermelho distrófico, em função de doses de calcário com e sem gesso agrícola aplicadas superficialmente em janeiro/2014.

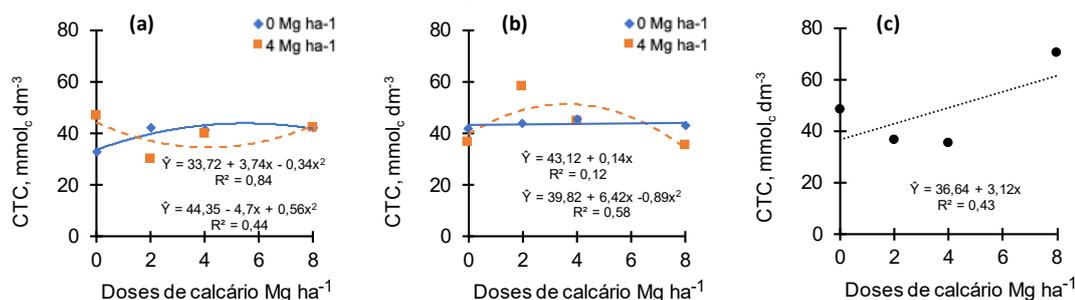


Figura 39 - Análise química da CTC no solo em amostras coletadas em 2016 (a), 2017 (b) e 2018 (c) na camada de 0,20 a 0,40 m de um ARGISSOLO Vermelho distrófico, em função de doses de calcário com e sem gesso agrícola aplicadas superficialmente em janeiro/2014.

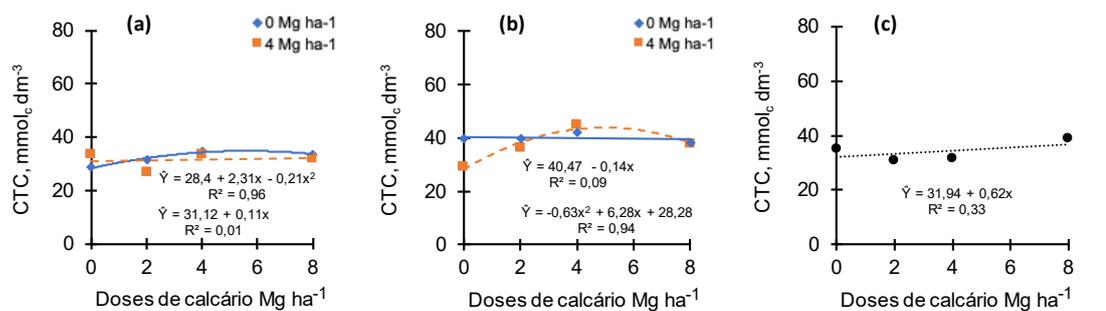
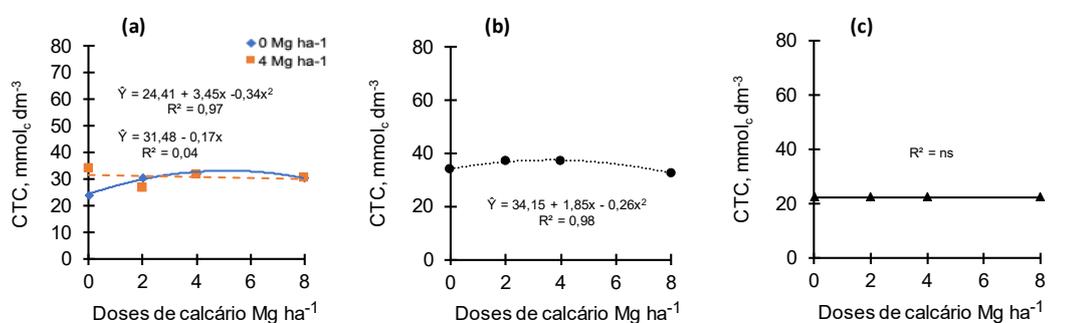


Figura 40 - Análise química da CTC no solo em amostras coletadas em 2016 (a), 2017 (b) e 2018 (c) na camada de 0,40 a 0,60 m de um ARGISSOLO Vermelho distrófico, em função de doses de calcário com e sem gesso agrícola aplicadas superficialmente em janeiro/2014.



6.8 Saturação por bases (V%)

Pode-se observar na profundidade 0,00 a 0,10 m (Figura 41) que, quando comparado entre os três anos (2016, 2017 e 2018), no primeiro e o segundo houve interação nos resultados, ou seja, no tratamento sem gesso, o aumento das doses de calcário proporcionou aumento no valor do V% até a dose com 4 Mg ha⁻¹ de calcário. Já na presença de gesso (4 Mg ha⁻¹) houve aumento do V% nos dois primeiros anos. Em 2018, o maior incremento do V% foi obtido com doses até 4 Mg ha⁻¹. O conceito de saturação por base está relacionado ao fornecimento de bases (Ca²⁺, Mg²⁺ e K⁺)

em níveis ótimos para o desenvolvimento das plantas (MCLEAN, 1977). A filosofia da saturação por base é baseada no conceito de criar relações ideais de Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+ no solo, para a produção máxima das culturas (ECKERT, 1987), portanto os valores de V% estão diretamente relacionados aos teores das bases, o que ocorreu em cada elemento como mencionado acima, observou-se mudanças na saturação de K^+ entre as profundidades avaliadas diante do deslocamento deste no perfil, o que pôde-se explicar a estabilidade da V% em profundidade, é que, mesmo com a entrada de Ca^{2+} via calcário e gesso agrícola, o fato do K^+ ter deslocado no perfil do solo, auxiliou no aumento do V% em profundidade assim refletiu na saturação por base.

Figura 41 - Análise química do V% no solo em amostras coletadas em 2016 (a), 2017 (b) e 2018 (c) na camada de 0,00 a 0,10 m de um ARGISSOLO Vermelho distrófico, em função de doses de calcário com e sem gesso agrícola aplicadas superficialmente em janeiro/2014.

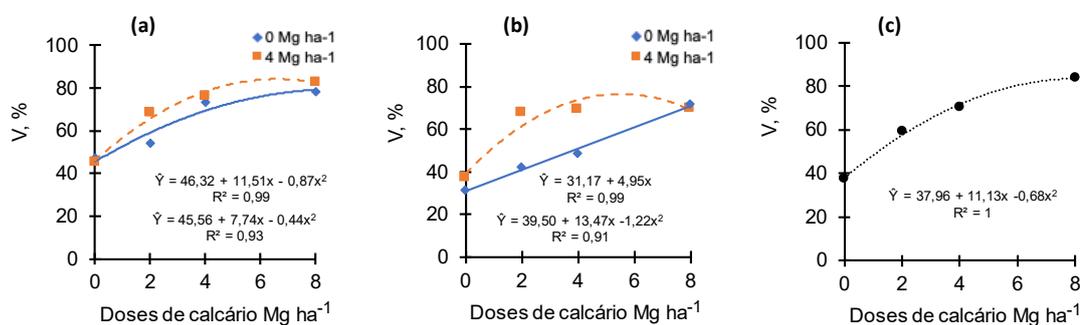


Figura 42 - Análise química do V% no solo em amostras coletadas em 2016 (a), 2017 (b) e 2018 (c) na camada de 0,10 a 0,20 m de um ARGISSOLO Vermelho distrófico, em função de doses de calcário com e sem gesso agrícola aplicadas superficialmente em janeiro/2014.

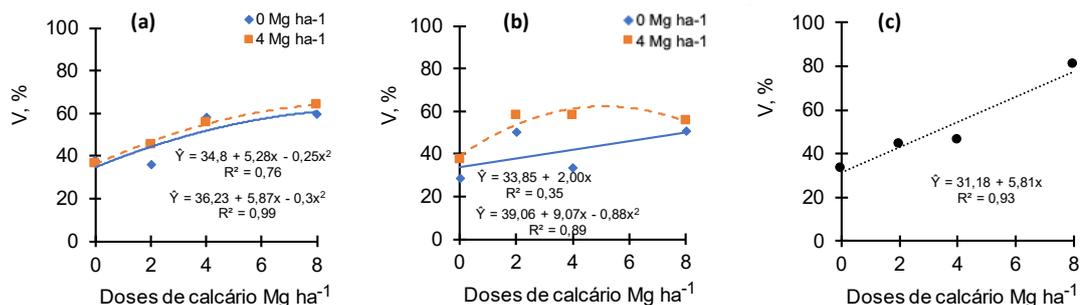


Figura 43 - Análise química do V% no solo em amostras coletadas em 2016 (a), 2017 (b) e 2018 (c) na camada de 0,20 a 0,40 m de um ARGISSOLO Vermelho distrófico, em função de doses de calcário com e sem gesso agrícola aplicadas superficialmente em janeiro/2014.

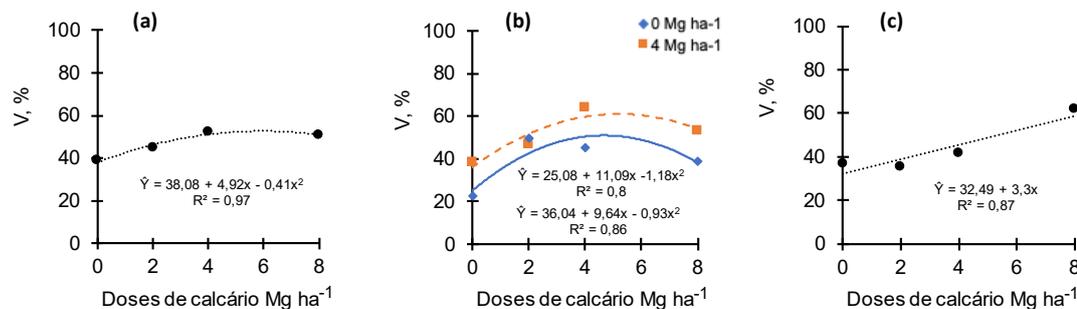
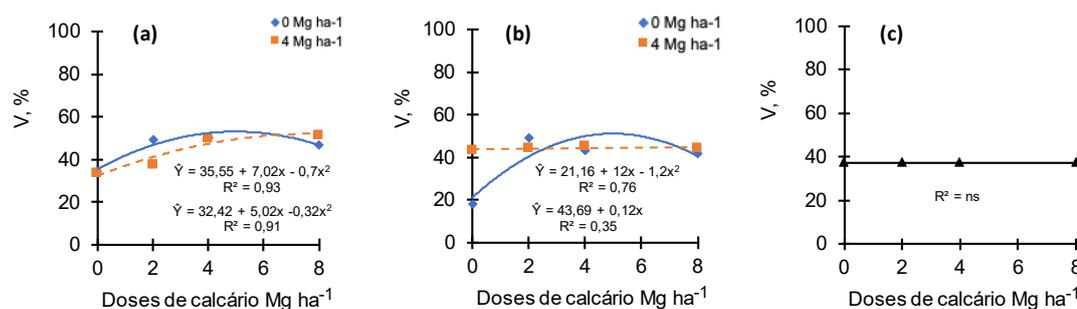


Figura 44 - Análise química do V% no solo em amostras coletadas em 2016 (a), 2017 (b) e 2018 (c) na camada de 0,40 a 0,60 m de um ARGISSOLO Vermelho distrófico, em função de doses de calcário com e sem gesso agrícola aplicadas superficialmente em janeiro/2014.



6.9 Diagnose foliar da soja

De maneira geral não foram observados resultados significativos nas análises foliares da soja, uma vez que a maior parte dos elementos não demonstraram efeito significativo em função dos tratamentos aplicados exceto nas Figuras 46a e 47a mostraram que, houve redução do teor foliar de Mg^{2+} e K^+ , respectivamente conforme aumentavam-se as doses de calcário no solo, porém mesmo na dose de 8 Mg ha⁻¹,

que foi onde mais houve a queda desses elementos, os teores ainda estavam acima do nível crítico. Acredita-se que os teores destes esses elementos possam ter sido reduzidos pela extração realizada pelas gramíneas que antecederam à cultura da soja e que podem não ter sido repostos adequadamente, lembrando que a correção no solo ocorreu uma única vez em janeiro de 2014 e a redução nos teores acontecia conforme passavam-se os anos e como observado na Figura 1 a cultura passou por períodos sem chuvas, fato que pode ter dificultado a absorção desses nutrientes no solo. Os demais elementos analisados (Ca^{2+} e S) não tiveram respostas significativas como mencionado anteriormente. Conforme o Boletim Técnico 100, (1996), os teores foliares de Ca^{2+} ($4\text{-}20\text{ g kg}^{-1}$) e S ($2,1\text{-}4,0\text{ g kg}^{-1}$) ainda não se encontravam abaixo do nível crítico.

Figura 45 - Análise do Ca na diagnose foliar da soja safra 16/17 (a) e 17/18 (b) em função de doses de calcário com e sem gesso agrícola aplicadas superficialmente em janeiro/2014.

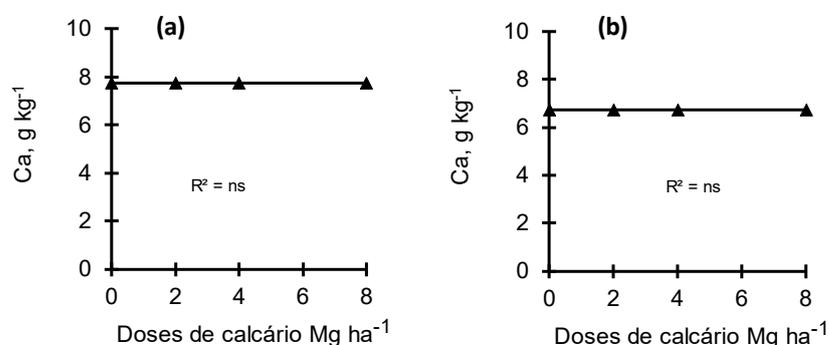


Figura 46 - Análise do Mg na diagnose foliar da soja safra 16/17 (a) e 17/18 (b) em função de doses de calcário com e sem gesso agrícola aplicadas superficialmente em janeiro/2014.

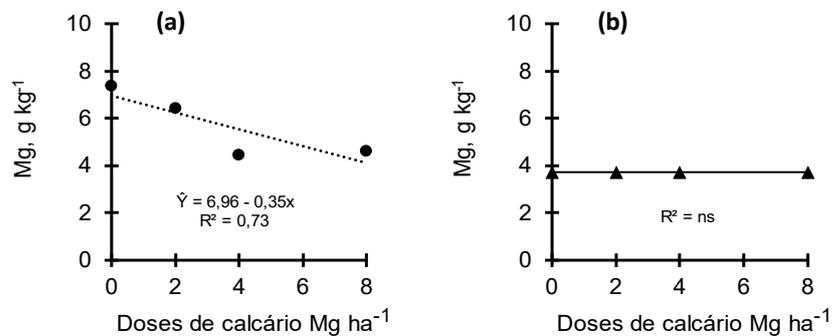


Figura 47 - Análise do K na diagnose foliar da soja safra 16/17 (a) e 17/18 (b) em função de doses de calcário com e sem gesso agrícola aplicadas superficialmente em janeiro/2014.

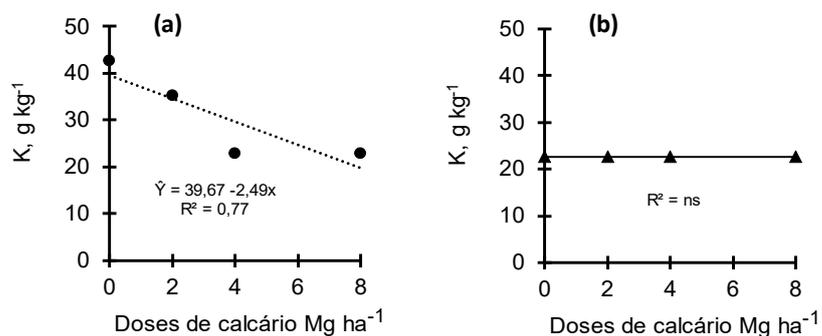


Figura 48 - Análise do S na diagnose foliar da soja safra 16/17 (a) em função de doses de calcário com e sem gesso agrícola aplicadas superficialmente em janeiro/2014.

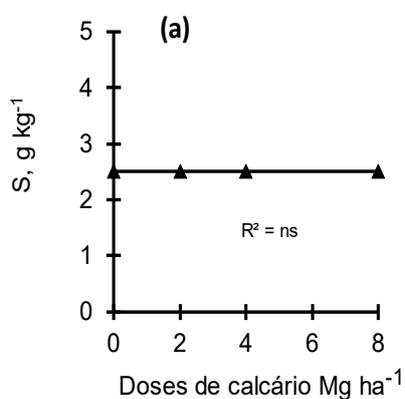


Tabela 6 - Análise do S na diagnose foliar da soja safra 17/18 em função de doses de calcário com e sem gesso agrícola aplicadas superficialmente em janeiro/2014.

Tratamento	S
Gesso (Mg ha ⁻¹)	(mg dm ⁻³)
0	2,23a
4	2,17b
F	64
P>F	0,01
CV%	15,24
CV%	0,93
CV%	19,72

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem pelo teste de Tukey ($P \leq 0,05$).

7 PRODUTIVIDADE DA SOJA

De acordo com a análise de solo inicial realizada no ano de 2016 (Tabela 2) o valor de era de 47,5% na camada 0,0 a 0,10m, esse valor corresponde aos estudos

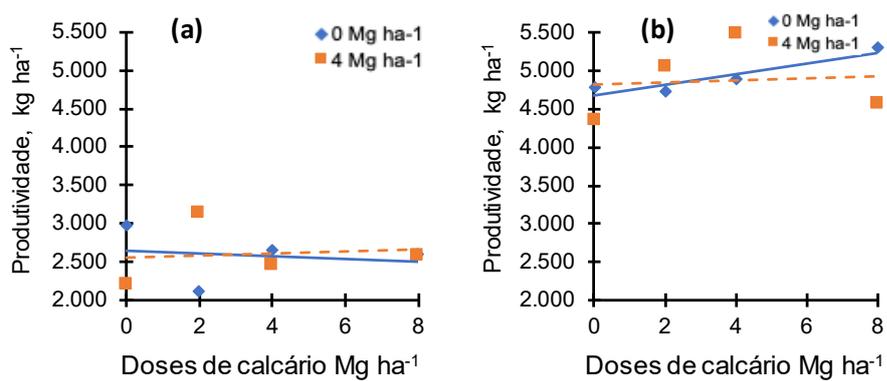
que segundo Sousa e Lobato (1996) na região dos cerrados, a produção de grãos de soja aumentou com a saturação por base, até 40%, estabilizando-se entre os valores de 40 e 60% e apresentando decréscimo de produção de grãos, quando a saturação por base foi maior que 60%. Entretanto, segundo a Embrapa (1995) para os Estados do Paraná e de São Paulo, as recomendações da quantidade de calcário, em função da saturação por base, devem ser quantificadas para atingir 70%. Portanto, de certa forma acredita-se que a saturação de bases tenha sido um fator limitante na produtividade, já que a correção do solo foi realizada apenas no ano de 2014, sendo 24 e 36 meses respectivamente antes da implantação das duas safras. Algo que também deve ser levado em consideração é o tipo de solo, da camada de 0,10 a 0,40 foi caracterizado como arenoso conforme mostrado na análise granulométrica (Tabela 2), solos arenosos são caracterizados por apresentar baixa fertilidade, baixa CTC, baixos níveis de fósforo e potássio, e pequena quantidade de enxofre e outros micronutrientes porém, quando a sua baixa fertilidade é corrigida, elevando níveis de cálcio e magnésio, por meio da calagem, torna desta forma o pH adequado, este tipo de solo pode vir a apresentar grande potencial para o cultivo, principalmente, de soja (LATMANN, 2013).

Em relação ao tratamento com gesso agrícola, Rampim (2011) e Neis *et al.* (2010) citaram em trabalhos que ocorreu a ausência de resposta a doses de gesso na soja, mas, analisando os resultados apenas de forma numérica, podemos correlacionar os mesmos com os dados pluviométricos (Figura 1), sendo expressiva a quantidade de chuva que ocorreu durante a safra 16/17 (Figura 49a), ou seja, no mês que em que foi semeada até ser colhida, a soja recebeu aproximadamente 600 mm, e durante a safra 17/18 (Figura 49b) foi de quase 900 mm, essa melhora na precipitação pode ter contribuído para um aumento de quase 50% na produtividade da safra 17/18 em relação a 16/17, segundo a Embrapa (2006) a necessidade total de água para obtenção do máximo rendimento, varia entre 450 a 800 mm por ciclo, dependendo das condições climáticas, do manejo da cultura e da duração do ciclo da cultivar.

Na safra de 2017/2018 a produtividade média de soja no Brasil foi de 3.150 kg ha⁻¹, um aumento de quase 3% na produção em relação à safra anterior 2016/2017, que produziu 3.070 kg ha⁻¹, principalmente devido à má distribuição das chuvas na fase de floração (CONAB, 2018). Logo destaca-se que a safra 2017/2018 desta pesquisa (Figura 49b) superou em aproximadamente 60% a produtividade média do

país. Não houve resposta significativa na produtividade da soja pela aplicação do gesso agrícola nem das doses de calcário (Figura 49a e 49b).

Figura 49 – Produtividade das safras de soja 16/17 (a) e 17/18 (b) em função de doses de calcário com e sem gesso agrícola aplicadas superficialmente em janeiro/2014.



8 CONCLUSÃO

A dose de 4 Mg ha⁻¹ de calcário dolomítico manteve a saturação por bases próxima a 60% e o Mg²⁺ acima do nível crítico para cultura.

O gesso agrícola contribuiu com o aumento dos teores de Ca²⁺ e Mg²⁺ até 0,40 m de profundidade.

Houve maior movimentação de K⁺ e SO₄²⁻ no perfil do solo em decorrência do aumento das doses de calcário na presença de gessagem.

Foi observada a ação residual do calcário e do gesso no decorrer dos anos de manejo.

Apesar das melhorias na fertilidade do solo, a calagem e a gessagem não promoveram ganhos significativos na produtividade da soja.

REFERÊNCIAS

- ADAMS, F.; WHITE, A. W.; DAWSON, R.N. Influence of lime sources and rates on Coastal bermudagrass production, soil profile reaction, exchangeable Ca and Mg. **Agronomy Journal**, Madison, v. 59, p. 147-149, 1967.
- ALCARDE, J. C. Corretivos da acidez dos solos: características e interpretações técnicas. São Paulo: ANDA, 1992. 62 p. (Boletim técnico, 6).
- ALCARDE, J. C. Corretivos da acidez dos solos: características e interpretações técnicas. São Paulo: ANDA, 2005 24 p. (Boletim Técnico, 6).
- ALVA, A. K.; GASHO G. J.; YANG, G. Gypsum material effects on peanut and soil calcium. **Commun. Soil Sci. Plant. Anal**, v. 20, p. 1727–1744, 1989.
- ALVA, A. K.; BLAMEY, F. P. C.; EDWARDS, D. G.; ASHER, C. J. An evolution of aluminum indices to predict aluminum toxicity to plants grown in nutrient solutions. **Communication Soil Science Plant Analyse**, New York, v. 17, p. 1271-1280, 1986.
- ALVA, A. K.; GASCHO, G. J. Differential leaching of cations and sulfate in gypsum amended soils. **Communication Soil Science Plant Analyse**, New York, v. 22, p. 1195-1206, 1991.
- ALVES, B. J. R.; URQUIAGA, S.; AITA, C.; BODDEY, R.M.; JANTALIA, C.P.; CAMARGO, F. A. O. **Manejo de sistemas agrícolas: impacto no sequestro de C e nas emissões de gases de efeito estufa**. 1. ed. Porto Alegre: Genesis, 2006. 216 p.
- ALVES, V. M. C.; VASCONCELLOS, C. A.; FREIRE, F. M.; PITTA, G. V. E.; FRANÇA, G. E. de. Sorgo. *In*: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ, V. V. H. (eds.). **Recomendação para uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**. 5.ed. Viçosa: Comissão de fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. p.325-327.
- ALLEONI, L. R. F., CAMBRI, M. A. 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**, v. 29, n. 6, p. 923-934, 2005.
- AMARAL, A. S.; ANGHINONI, I. Alteração de parâmetros químicos do solo pela reaplicação superficial de calcário no sistema de plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, n. 4, p. 675-702, 2001.
- AMARAL, A. S.; ANGHINONI, I.; DESCHAMPS, F. C. Resíduos de plantas de cobertura e mobilidade dos produtos da dissolução do calcário aplicado na superfície do solo. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 28, p. 115-123, 2004.
- ARSHAD, M. A.; LOWERY, B.; GROSSMAN, B. Physical tests for monitoring soil quality. *In*: DORAN, J. W.; JONES, A. J. eds. **Methods for assessing soil quality**. Madison: Soil Science Society of America, 1996. p. 123-141 (SSSA Special publication 49).

ÁVILA, M. R.; ALBRECHT, L. P. Isoflavonas e a qualidade das sementes de soja. **Informativo Abrates**, v. 20, p. 15-29, 2010.

BARBOSA, D. S.; CAMARGO, M. S.; RAMOS, L. A.; RESENDE, R. H.; ARRUDA, D.; KORNDÖRFER, G. H.; PEREIRA, H. S.; NOLLA, A. Correção da acidez do solo em profundidade e disponibilidade de silício proporcionados pela aplicação de silicato e calcário em lisímetros. *In*: SIMPÓSIO SOBRE SILÍCIO NA AGRICULTURA UNIVERSIDADE FEDERAL DE LAVRAS, 2., 2003, Lavras. **Anais** [...]. Lavras: UFLA, 2003. 1 CD-ROM.

BEAR, F. E.; TOTH, S. J. Influence of calcium on availability of other soil cations. **Soil Science**, Baltimore, v. 65, p. 69-74, 1948.

BENITES, V. M.; CARVALHO, M. C. S.; RESENDE, A. V.; POLIDORO, J. C.; BERNADI, A. C. C.; OLIVEIRA, F. A. Potássio, cálcio e magnésio. *In*: PROCHNOW, L. I.; CASARIN, V.; STIPP S. R. **Boas práticas para uso eficiente de fertilizantes: nutrientes**. Piracicaba: International Plant Nutrition Institute, 2010. p. 137-191.

BERNARDI, A. C. C.; OLIVEIRA JÚNIOR, J. P.; LEANDRO, W. M.; MESQUITA, T. G. S.; FREITAS, P. L.; CARVALHO, M. C. S. Doses e formas de aplicação da adubação potássica na rotação soja, milho e algodão em sistema de plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 39, n. 2, p. 158-167, 2009.

BOHRER, T. R. J.; HUNGRIA, M. Avaliação de cultivares de soja quanto à fixação biológica do nitrogênio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 33, n. 6, jun., p. 937-952, 1998.

BRAGA, G. N. M. **Emprego do gesso agrícola na calagem superficial**. Porto Alegre: Agronomia com Gismonti, 2011. Disponível em <http://www.agronomiacomgismonti.blogspot.com.br/2011/11/emprego-do-gesso-agricola-na-calagem-html>. Acesso em: 18 jun. 2017.

BROCH, D. L.; PAVINATO, P. S.; POSSENTTI, J. C.; MARTIN, T. N.; QUIQUI, E. M. D. Produtividade da soja no cerrado influenciada pelas fontes de enxofre. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 42, n. 3, p. 791-796, 2011.

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. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 22, p. 27-34, 1998.

CAIRES, E. F. *et al.* Produção de milho, trigo e soja em função das alterações das características químicas do solo pela aplicação de calcário e gesso na superfície, em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, n. 2, p. 315-327, 1999.

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

CAIRES, E. F.; FONSECA, A. F.; FELDHAUS, I. C.; BLUM, J. Crescimento radicular e nutrição da soja cultivada no sistema de plantio direto em resposta ao calcário e gesso na superfície. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, p. 1029-1040, 2001b.

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 plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 2, p. 275-286, 2003.

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**, v. 28, p. 125-136, 2004.

CALEGARI, A. Plantas de cobertura. *In*: CASÃO JUNIOR, R. *et al.* **Sistema plantio direto com qualidade**. Londrina: IAPAR, 2006. p. 85-126. v.1.

CÂMARA, M. P. S.; FERREIRA, M. A. S.; DIANESE, J. C. Efeito da aplicação de fungicidas sistêmicos e época de plantio sobre a sanidade de sementes de cultivares de soja. **Fitopatologia Brasileira**, v. 20, n. 2, p. 233-240, 2014.

CAMERON, R. S.; RITCHEY, G. S. P.; ROBSON, A. D. Relative toxicities of inorganic aluminum complexes to barley. **Soil Science Society American Journal**, Madison, v. 50, n. 5, p. 1231-1236, 1986.

CARVALHO, M. C. S.; RAIJ, B. Calcium sulphate, phosphogypsum and calcium carbonate in the amelioration of acid subsoils for root growth. **Plant Soil**, v. 192, p. 37-48, 1997.

CHAVES, L. H. G.; FARIAS, C. H. A. Escória de siderurgia e calcário na correção da acidez do solo e na disponibilidade de cálcio, magnésio e fósforo. **Revista Caatinga**, Mossoró, RN, v. 21, n. 5, p. 75-82, 2008.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). **Acompanhamento da safra brasileira: grãos, quarto levantamento, janeiro 2018**. Brasília: Conab, 2018. 16 p.

COSTA, A. **Doses e modos de aplicação de calcário na implantação de sucessão soja trigo em sistema de plantio direto**. 2000. 146 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2000.

CRUSCIOL, C. A. C.; GILIOLI, B. L.; SILVA, R. H.; ROSOLEM, C. A. Lixiviação de bases em função da adubação nitrogenada e da calagem superficial em plantio direto. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO. 29., 2003, Ribeirão Preto. **Anais [...]**. Ribeirão Preto: SBCS-UNESP, 2003a. 1 CD-ROM.

COX, F. R.; LINS, D. G. A phosphorus soil test interpretation for corn grown on acid soils varying in crystalline clay content. **Comm. Soil Sci. Plant Anal.**, v. 15, p. 1481-1491, 1984.

DALLA, N. D. T. J. C.; AMADO, R. P.; BORTOLOTTI, A. O.; FERREIRA, K. REICHARDT, A.L.; SANTI. Ameliorate subsurface chemical soil quality of long-term no-till and soybean and corn grain yield in a dystrophic Oxisol. **Rev. Bras. Cienc. Solo**. 2013.

DE-POLLI, H.; PIMENTEL, M. S. Indicadores de qualidade do solo. *In*: AQUINO, A. M.; ASSIS, R. L. (eds.) **Processos biológicos no sistema solo-planta**: ferramentas para uma agricultura sustentável. Brasília-DF: Embrapa Informação Tecnológica; Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2005. p. 17-28.

ECKERT, D. J. Soil test interpretations: Basic cation saturation ratios and sufficiency levels. *In*: Brown, J. R. (ed.). **Soil testing**: sampling, correlation, calibration, and interpretation. Madison: Soil Science Society of America, 1987. p. 53-64.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006.

EMBRAPA. **Calagem, adubação e nutrição mineral**. Londrina: Embrapa Soja, 2008. 148 p. (Embrapa Soja, 305).

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

FAGERIA, N. K. Efeito da calagem na produção de arroz, feijão, milho e soja em solo de cerrado. **Pesq. Agropec. Bras.**, v. 36, n. 1419-1424, 2001.

FARIA, C. M. B.; COSTA, N. D.; FARIA, A. F. Ação de calcário e gesso sobre características químicas do solo e na produtividade e qualidade do tomate e melão. **Horticultura Brasileira**, v. 21, n. 4, p. 615-619, 2003.

FARINA, M. P. W.; CHANNON, P. Acid-subsoil amelioration. II. Gypsum effects on growth and subsoil chemical properties. **Soil Science Society American Journal**, Madison, v. 52, p. 175-180, 1988.

FEBRAPDP. Área de plantio direto no Brasil. Paraná: FEBRAPDP, 2012. Disponível em: http://www.febrapdp.org.br/download/ev_plantio_brasil.pdf. Acesso em: 20 out. 2018.

FOLONI, J. S. S.; SANTOS, D. H.; CRESTE, J. E.; SALVADOR, J. P. Resposta do feijoeiro e fertilidade do solo em função de altas doses de calcário em interação com a gessagem. *Colloquium Agrariae*, v. 4, p. 27-35, 2008.

GATIBONI, L. C.; SAGGIN, A.; BRUNETTO, G.; HORN, D.; FLORES, J. P. C.; RHEINHEIMER, D. S.; KAMINSKI, J. Alterações nos atributos químicos de solo arenoso pela calagem superficial no sistema plantio direto consolidado. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 33, n. 2, p. 283-290, mar./abr., 2003.

GELAIN, E.; ROSA JUNIOR, E. J.; MERCANTE, F. M.; FORTES, D. G.; SOUZA, F. R.; ROSA, Y. B. C. J. Fixação biológica de nitrogênio e teores foliares de nutrientes

na soja em função de doses de molibdênio e gesso agrícola. **Ciências Agrotécnicas**, v. 35, n. 2, p. 259-269, 2011.

GONÇALVES, J. R. P. **Variações nas propriedades químicas do solo, no desenvolvimento e produção do milho sob cultivo convencional e semeadura direta em função da aplicação de calcário dolomítico com diferentes granulometrias e doses**. 2003. 162 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2003.

GRUNDON, N. J.; EDWARDS, D. G.; TAKKAR, P. N.; ASHER, C. J.; CLARK, R. B. **Nutritional disorders of grain sorghum**. Canberra: Australian Centre for International Agricultural Research/Indian Council of Agricultural Research/University of Queensland, 1987.

GUARESCHI, R. F.; GAZOLLA, P. R.; SOUCHIE, E. L.; ROCHA, A. C. Adubação fosfatada e potássica na semeadura e a lanço antecipada na cultura da soja cultivada em solo de Cerrado. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 29, n. 4, p. 769-774, 2008.

HEIZMANN, F. X. Resíduos culturais de inverno e assimilação de nitrogênio por culturas de verão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 20, p.1021-1030, 1985.

HOLTZ, G. P.; SÁ, J. C. M. **Resíduos culturais: reciclagem de nutrientes e impacto na fertilidade do solo**. Castro, PR: Fundação ABC, 1995. p. 21-36.

HUNGRIA, M.; CAMPO, R. J.; MENDES, I.C. **Fixação biológica do nitrogênio na cultura da soja**. Brasília: Embrapa Cerrados, 2001.

KAMINSKI, J.; RHEINHEIMER, D.S.; SANTOS, E.J.S.; GATIBONI, L.C.; BORTOLUZZI, E. C.; XAVIER, F. M. Resposta de culturas à aplicação de calcário em superfície ou incorporado ao solo a partir da pastagem natural. **Ci. Rural**, v. 30, p. 605-609, 2000.

KAMINSK, J.; RHEINHEIMER, D. S.; GATIBONI, L. C.; BRUNETTO, G.; SAGGIN, A. Eficiência da calagem superficial e incorporada precedendo o sistema plantio direto em um Argissolo sob pastagem natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, n. 4, p. 573-580, 2005.

KANDIAH, A. **Quality criteria in using sewage effluent for crop production**. Roma: FAO, 1985.

KLUTHCOUSKI, J. **Produção sustentável nos solos arenosos**. Goiânia, GO: Revista opiniões, 2015. Disponível em: http://www.solosarenosos.com.br/admin/publicacoes/anexos/producao_sustentavel_em_solos_arenosos.pdf. Acesso em: 03 maio 2018.

KONDORFER, G. H. **Uso do silício na agricultura**. [s.]: Foundation for Agronomic Research, 2002. Disponível em: www.ppi-far.org. Acesso em: 10 nov. 2019.

LATMANN, A. **Solos arenosos podem ser propícios ao cultivo de soja**. Nova Xavantina, MT: Rural BR, 2013. Disponível em: <http://www.canalr>

ural.com.br/noticias/soja-brasil/solos-arenosos-podem-ser-propicios-cultivo-soja-26172. Acesso em: 18 jun. 2017.

LEPSCH, I. F. **19 lições de pedologia**. São Paulo: Oficina de Textos, 2011.

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.

LOPES, A. S.; SILVA, M. de C.; GUILHERME, L. R. G. **Acidez do solo e calagem**. 3.ed. São Paulo: Associação Nacional para Difusão de Adubos e Corretivos Agrícolas, 1991. 15 p.

MALAVOLTA, E.; DANTAS, J. P. Nutrição e adubação do milho. *In*: PATERNIANI, E.; VIEGAS, G. D. (eds.). **Melhoramento e produção de milho**. 2.ed. Campinas: Fundação Cargill, 1987.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006. 638 p.

MARSH, B. H.; GROVE, J. H. Surface and subsurface soil acidity: soybean root response to sulfate-bearing spent lime. **Soil Sci. Soc. Am. J.** v. 56, n. 1837-1842, 1992.

MASCARENHAS, H. A. A.; BRAGA, N. R.; BATAGLIA, O. C.; BULISANI, E. A.; FEITOSA, C. T.; HIROCE, R. Efeito do corretivo sobre soja cultivada em solo de cerrado contendo Al e Mn. *In*: SEMINÁRIO NACIONAL DE PESQUISA DE SOJA, 2., 1981, Brasília. **Anais** [...]. Brasília: EMBRAPA-CNPSo, 1982. p. 567-573.

MASCARENHAS, H. A. A.; BATAGLIA, O. C.; QUAGGIO, J. A.; GALLO, P. B. Zinco nas folhas de soja em função da calagem. **Bragantia**, v. 47, p. 137-142, 1988.

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.

MATA, J. D. V.; GOLÇALVES, A. C. A.; VIEIRA, S. R. Variabilidade espacial da macroporosidade do solo em área irrigada, antes do preparo e após colheita, sob dois sistemas de preparo. **Acta Scientiarum**, v. 20, n. 3, p. 307-312, 1998.

MEDA, A. R.; CASSIOLATO, M. E.; PAVAN, M. A.; MIYAZAWA, M. Alleviating soil acidity through plant organic compounds. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, Curitiba, v. 44, p.185-189, 2001.

MELLO, J. C. A. Granulometria e doses de calcário dolomítico em sistema de plantio convencional e direto, cultivado com milho. 2001. 94 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2001.

MERCANTE, F. M. **Uso de inoculante garante economia de três bilhões de dólares na cultura da soja no país.** Brasília: EMBRAPA, 2005. Disponível em: <http://www.embrapa.br/imprensa/artigos/2005/artigo.2005-1205.0506770395/>.

MORAES, J. F. L.; BELLINGIERI, P. A.; FORNASIERI FILHO, D.; GALON, J. A. **Efeito de doses de calcário e de gesso na cultura do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) cv. Carioca-80.** Scientia agricola, v. 55, n. 3, p. 438-447, 1998.

MIYAZAWA, M.; CHIERICE, G. O.; PAVAN, M. A. Amenização da toxicidade de alumínio às raízes do trigo pela complexação com ácidos orgânicos. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 16, p. 209-215, 1992.

MIYAZAWA, M.; PAVAN, M. A.; SANTOS, J. C. F. Effects of addition of crop residues on the leaching of Ca and Mg in Oxisols. *In*: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON PLANTSOIL INTERACTIONS AT LOW pH, 4., 1996, Belo Horizonte. **Abstracts** [...]. Belo Horizonte: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, CPAC/EMBRAPA, 1996. p. 8.

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

MIYAZAWA, M.; PAVAN, M. A.; FRANCHINI, J. C. Evaluation of plant residues on the mobility os surface applied lime. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, Curitiba, v. 45, p. 251-256, 2002.

NEPOMUCENO, A. L.; FARIAS, J. R. B.; NEUMAIER, N. Efeitos da disponibilidade hídrica no solo sobre a cultura da soja. *In*: REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO CENTRAL DO BRASIL, 15., 1994, Londrina. **Anais** [...]. Londrina: Embrapa, 1994. p. 42-43. (Ata – Documentos, 72).

NEIS, L.; PAULINO, H. B.; SOUZA, E. D. D.; REIS, E. F. D.; PINTO, F. A. U. Gesso agrícola e rendimento de grãos de soja na região do sudoeste de Goiás. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 2010.

NOVAIS, R. F. A pesquisa em fertilidade do solo (no país) - como a vejo (e a sinto). *In*: ALVAREZ, V. V. H.; FONTES, L. E. F.; FONTES, M. P. F. eds. **O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado.** Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1996. p. 397-409.

OATES, K. M.; CALDWELL, A. G. Use of by-product gypsum to alleviate soil acidity, **Soil Sci. Soc. Am . J.** v. 49, p. 915-918, 1985.

OLIVEIRA, I. P.; COSTA, K. A. P.; FAQUIN, V.; MACIEL, G. A.; NEVES, B. P.; MACHADO, E. L. Efeitos de fontes de cálcio no desenvolvimento de gramíneas solteiras e consorciadas. **Ciência Agrotécnica**, v. 33, n. 2, p. 592-598, 2009.

OLIVEIRA, E. L.; PAVAN, M. A. Control of soil acidity in no-tillage system for soybean production. **Soil Till. Res.**, v. 38, p. 47-57, 1996.

ORLANDO FILHO, J. O.; BITTENCOURT, V. C.; CARMELLO, Q. A. C.; BEAUCLAIR, E. G. F. Relações K, Ca e Mg de solo areia quartzosa e produtividade da cana-de-açúcar. **STAB: Açúcar, Alcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 14, n. 5, p. 13-17, 1996.

PAVAN, M. A. Movimentação de calcário no solo através de técnicas de manejo da cobertura vegetal em pomares de macieira. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 16, n. 1, p. 86-91, 1994.

PETRERE, C.; ANGHINONI, I. Alteração de atributos químicos no perfil do solo pela calagem superficial em campo nativo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, p. 885-895, 2001.

PÖTTKER, D.; BEN, J. R. Calagem para uma rotação de culturas no sistema de plantio direto. **R. Bras. Cienc. Solo**, v. 22, p. 675-684, 1998.

PRADO, R. M.; NATALE, W. Calagem na nutrição de cálcio e no desenvolvimento do sistema radicular da goiabeira. **Pesq. Agropec. Bras.**, v. 39, p. 1007-1012, 2004.

QUAGGIO, J. A.; RAIJ, B. VAN; GALLO, P. B.; MASCARENHAS, H. A. A. Respostas da soja à aplicação de calcário e gesso e lixiviação de íons no perfil do solo. **Pesq. Agropec. Bras.**, v. 28, p. 375-383, 1993.

RAIJ, B. V. Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. **Boletim Técnico do Instituto Agrônomo de Campinas**, Campinas, n. 100, p. 10-11, 1985.

RAIJ, B. V.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. **Recomendação de adubação e calagem para o estado do São Paulo**. 2.ed. Campinas: Instituto Agrônomo & Fundação IAC, 1996. 285 p.

RAIJ, B. V.; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. **Análise química do solo para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas, 2001. 285 p.

RAIJ, B. V. Uso do gesso na agricultura. **Informações Agronômicas**, Campinas, n. 117, 2007.

RAMPIM, L.; LANA, M. C.; FRANDOLOSO, J. F.; FONTANIVA, S. Atributos químicos de solo e resposta do trigo e da soja ao gesso em sistema de semeadura direta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 1687-1698, 2011.

RHEINHEIMER, D. S. **Dinâmica do fósforo em sistemas de manejo de solos**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2000. 210 p.

RITCHEY, K. D.; SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E.; CORREIA, O. Calcium leaching to increase rooting depth in a Brazilian Savannah Oxisol. **Agronomy Journal**, Madison, **72**:40-44, 1980.

RUSSELL, J. B. **Química Geral**. São Paulo: McGraw Hill Ltda, 1981. v. 1.

SALDANHA, E. C. M. *et al.* Uso do gesso mineral em Latosssolo cultivado com cana de açúcar. **Revista Caatinga**, Mossoró, RN, v. 20, n. 1, p. 103-109, 2007.

SANCHEZ, P. A.; PALM, C. A.; BUOL, S. W. Fertility capability soil classification: A tool to help assess soil quality in the tropics. **Geoderma**, v. 114, p. 157-185, 2003.

SANTOS, A. C.; VILELA, L. C.; BARRETO, P. M.; CASTRO, J. G. D.; SILVA, J. E. C. Alterações de atributos químicos pela calagem e gessagem superficial com o tempo de incubação. **Revista Caatinga**, v. 23, n. 1, p. 77-83.

SHAINBERG, I.; SUMNER, M. E.; MILLER, W. P.; FARINA, M. P. W.; PAVAN, M. A.; FEY, M. V. Use of gypsum on soils. **A Review Advance Soil Science**, New York, v. 9, p. 1-111, 1989.

SIQUEIRA NETO, M.; PICCOLO, M. C.; SCOPEL, E.; COSTA JUNIOR, C.; CERRI, C. C.; BERNOUX, M. Carbono total e atributos químicos com diferentes usos do solo no Cerrado. **Acta Sci. Agron.**, v. 31, p. 709-717, 2009.

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**, v. 32, n. 2, p. 675-688, 2008.

SOUZA, K. S. *et al.* Avaliação dos componentes de produção da mamoneira em função de doses de calcário e fósforo. **Revista Caatinga**, Mossoró, RN, v. 22, n. 4, p. 116-122, 2009.

STONE, L. F. & SILVEIRA, P. M. Efeitos do sistema de preparo na compactação do solo, disponibilidade hídrica e comportamento do feijoeiro. **Pesq. Agropec. Bras.**, v. 34, p. 83-91, 1999.

SUMNER, M. E.; SHAHANDEH, H.; BOUTON, J.; HAMMEL, J. Amelioration of an acid soil prolife through deep liming a surface application of gypsum. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, v. 50, p. 1254-1278, 1986.

TAIZ, L.; ZIEGER, E. **Fisiologia vegetal**. 4. ed. Porto Alegre: Artmed, 2009. 848 p.

TEDESCO, J.; GIANELLO, C. Escolha do corretivo da acidez do solo. *In*: KAMINSKI, J. (Coord.). **Uso de corretivos da acidez do solo no plantio direto**. Pelotas: Núcleo Regional Sul da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. p. 96-113. (Boletim, 4)

VITTI, G. C. **Uso eficiente do gesso agrícola na agropecuária**. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 2000.

VAL, B. H. P. *et al.* Diversidade genética de genótipos de soja por meio de caracteres agromorfológicos. **Ciência & Tecnologia Fatec-JB**, v. 6, n. 1, 2014.

YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S.; VITTI, G. C. Nitrogênio e enxofre na agricultura brasileira. *In*: SIMPÓSIO SOBRE NITROGÊNIO E ENXOFRE NA AGRICULTURA BRASILEIRA, 2007, Piracicaba. **Anais [...]**. Piracicaba: IPNI Brasil, 2007. p. 722.

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. **R. Verde**, v. 6, p. 49-55, 2011.

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

ZIGLIO, C. M.; MIYAZAWA, M.; PAVAN, M. A. Organic and inorganic forms of calcium mobilization in soil. **Arq. Biol. Tecnol.**, v. 42, n. 2, p. 257-262.