



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

SIDNEY DANIEL ARAÚJO DA COSTA

**USO COMBINADO DE CALCÁRIO E GESSO SOBRE ATRIBUTOS QUÍMICOS
DO SOLO, NUTRIÇÃO E PRODUÇÃO DE MILHO**

**BELÉM
2018**



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

SIDNEY DANIEL ARAÚJO DA COSTA

**USO COMBINADO DE CALCÁRIO E GESSO SOBRE ATRIBUTOS QUÍMICOS
DO SOLO, NUTRIÇÃO E PRODUÇÃO DE MILHO**

Dissertação apresentada à
Universidade Federal Rural da
Amazônia, como parte das
exigências do curso de Mestrado em
Agronomia, para obtenção do título
de Mestre.

Orientador: Prof. Dr. Mário Lopes da
Silva Júnior

Co-orientador: Dr. Edilson Carvalho
Brasil

**BELÉM
2018**

SIDNEY DANIEL ARAÚJO DA COSTA

USO COMBINADO DE CALCÁRIO E GESSO SOBRE ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO, NUTRIÇÃO E PRODUÇÃO DE MILHO

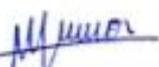
Dissertação apresentada à Universidade Federal Rural da Amazônia, como parte das exigências do curso de mestrado em Agronomia, para obtenção do título de Mestre.

Orientador: Prof. Dr. Mário Lopes da Silva Júnior

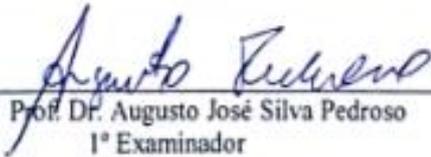
Co-orientador: Dr. Edilson Carvalho Brasil

Aprovado em 26 de Fevereiro de 2018

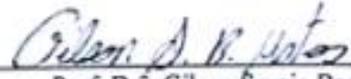
BANCA EXAMINADORA



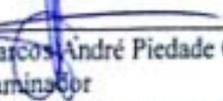
Prof. Dr. Mário Lopes da Silva Júnior
Presidente/Orientador
Universidade Federal Rural da Amazônia



Prof. Dr. Augusto José Silva Pedroso
1º Examinador
Instituto Federal do Pará



Prof. Dr.º Gilson Sergio Bastos de Matos
2º Examinador
Universidade Federal Rural da Amazônia



Prof. Dr. Marcos André Piedade Gama
3º Examinador
Universidade Federal Rural da Amazônia

Prof.ª Dr.ª Suzana Romero Araújo
Suplente
Universidade Federal Rural da Amazônia

DEDICATÓRIA

À família mais incrível, a minha!

AGRADECIMENTOS

Por Sidney Daniel Araújo da Costa,
Primeiramente a Deus pela dádiva da vida;

À Universidade Federal Rural da Amazônia e Embrapa Amazônia Oriental pelo apoio estrutural que foram de grande importância. Ao programa de Pós-graduação em Agronomia, pela oportunidade de um bom trabalho.

A Capes pela bolsa de mestrado.

Meu orientador Prof. Dr. Mário Lopes da Silva Júnior, pelos ensinamentos, ao longo da graduação e mestrado.

Meu co-orientador Dr. Edilson Carvalho Brasil, pelo acolhimento, e bom trabalho desenvolvido, agradeço imensamente por todos os esforços, que não foram poucos, para que meu trabalho fosse desenvolvido.

Aos meus queridos e amados pais, Célia Araújo da Costa e Pedro Batista Monteiro da Costa, por acreditarem no meu potencial, pela ajuda integral, por todos os momentos, dedicação e amor incondicional, amo vocês. Ao meu irmão David Araújo da Costa e minha irmãzinha Ana Luiza Araújo.

A minha companheira, Aline Figueiredo Cardoso, sempre presente, importante em todas as minhas batalhas ao longo dos últimos anos, tenho apenas a agradecer cada momento bom ou ruim vivido, a paciência, e principalmente a toda ajuda a mim oferecida durante o mestrado, amo você meu amorão.

As colegas que pude fazer ao longo dessa caminhada no mestrado.

Obrigado a todos!

Lista de Figuras

Capítulo I

- Quadro 1:** Características químicas do solo da área antes da instalação do experimento.....35
- Figura 1:** Valores de pH do solo em Latossolo Amarelo, textura média, de Terra Alta (PA). no primeiro ciclo agrícola (2010), em função da aplicação das doses de calcário38
- Figura 2:** Valores de pH do solo em Latossolo Amarelo, textura média, de Terra Alta (PA). no segundo ciclo agrícola (2011), em função da aplicação das doses de calcário e gesso.....39
- Figura 3:** Valores de pH do solo em Latossolo Amarelo, textura média, de Terra Alta (PA). no terceiro ciclo agrícola (2012), em função da aplicação das doses de calcário e gesso.....39
- Figura 4:** Teor de alumínio trocável em Latossolo Amarelo, textura média, de Terra Alta (PA). no primeiro ciclo agrícola (2010), em função da aplicação das doses de calcário.....41
- Figura 5:** Teor de alumínio trocável em Latossolo Amarelo, textura média, de Terra Alta (PA). no segundo ciclo agrícola (2011), em função da aplicação das doses de calcário e gesso.....41
- Figura 6:** Teor de alumínio trocável em Latossolo Amarelo, textura média, de Terra Alta (PA). no segundo ciclo agrícola (2011), em função da aplicação das doses de calcário.....42
- Figura 7:** Teor de alumínio trocável em Latossolo Amarelo, textura média, de Terra Alta (PA). no terceiro ciclo agrícola (2012), em função da aplicação das doses de calcário.....42
- Figura 8:** Teor de potássio em Latossolo Amarelo, textura média, de Terra Alta (PA). no primeiro ciclo agrícola (2010), em função das profundidades 0-20 cm e 20-40 cm.....44
- Figura 9:** Teor de potássio em Latossolo Amarelo, textura média, de Terra Alta (PA). no segundo ciclo agrícola (2011), em função da aplicação de doses de calcário e gesso na profundidade 0-20 cm.....45
- Figura 10:** Teor de potássio em Latossolo Amarelo, textura média, de Terra Alta (PA). no segundo ciclo agrícola (2011), em função da aplicação de doses de calcário e gesso na profundidade 20-40 cm.....45
- Figura 11:** Teor de potássio em Latossolo Amarelo, textura média, de Terra Alta (PA). no terceiro ciclo agrícola (2012), em função da aplicação de doses de gesso.....46
- Figura 12:** Teor de potássio em Latossolo Amarelo, textura média, de Terra Alta (PA). no terceiro ciclo agrícola (2012), em função da aplicação de doses de calcário.....46
- Figura 13:** Teor de cálcio em Latossolo Amarelo, textura média, de Terra Alta (PA). no primeiro ciclo agrícola (2010), em função da aplicação de doses de calcário e gesso na profundidade 0-20 cm.....47
- Figura 14:** Teor de cálcio em Latossolo Amarelo, textura média, de Terra Alta (PA). no primeiro ciclo agrícola (2010), em função da aplicação de doses de calcário e gesso na profundidade 20-40 cm.....47
- Figura 15:** Teor de cálcio em Latossolo Amarelo, textura média, de Terra Alta (PA). no segundo ciclo agrícola (2011), em função da aplicação de doses de calcário e gesso na profundidade.....48
- Figura 16:** Teor de cálcio em Latossolo Amarelo, textura média, de Terra Alta (PA). no segundo ciclo agrícola (2011), em função da aplicação de doses de calcário nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm....49
- Figura 17:** Teor de cálcio em Latossolo Amarelo, textura média, de Terra Alta (PA). no terceiro ciclo agrícola (2012), em função da aplicação de doses de calcário nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm....50

Figura 18: Teor de cálcio em Latossolo Amarelo, textura média, de Terra Alta (PA). no terceiro ciclo agrícola (2012), em função da aplicação de doses de calcário e gesso.....	50
Figura 19: Teor de magnésio em Latossolo Amarelo, textura média, de Terra Alta (PA). no primeiro ciclo agrícola (2010), em função da aplicação de doses de calcário e gesso na profundidade de 0-20 cm.....	52
Figura 20: Teor de magnésio em Latossolo Amarelo, textura média, de Terra Alta (PA). no primeiro ciclo agrícola (2010), em função da aplicação de doses de calcário e gesso na profundidade de 20-40 cm.....	52
Figura 21: Teor de magnésio em Latossolo Amarelo, textura média, de Terra Alta (PA). no segundo ciclo agrícola (2011), em função da aplicação de doses de calcário e gesso.....	53
Figura 22: Teor de magnésio em Latossolo Amarelo, textura média, de Terra Alta (PA). no segundo ciclo agrícola (2011), em função da aplicação de doses de calcário nas profundidades de 0-20 cm e 20-40 cm.....	53
Figura 23: Teor de magnésio em Latossolo Amarelo, textura média, de Terra Alta (PA). no terceiro ciclo agrícola (2012), em função da aplicação de doses de calcário e gesso na profundidade de 0-20 cm.....	54
Figura 24: Teor de magnésio em Latossolo Amarelo, textura média, de Terra Alta (PA). no terceiro ciclo agrícola (2012), em função da aplicação de doses de calcário e gesso na profundidade de 20-40 cm.....	55
Figura 25: Capacidade de troca catiônica em Latossolo Amarelo, textura média, de Terra Alta (PA), no primeiro ciclo agrícola (2010) em função da aplicação de doses de calcário e gesso na profundidade de 0-20 cm.	56
Figura 26: Capacidade de troca catiônica em Latossolo Amarelo, textura média, de Terra Alta (PA), no primeiro ciclo agrícola (2010) em função da aplicação de doses de calcário e gesso na profundidade de 20-40 cm.....	56
Figura 27: Capacidade de troca catiônica em Latossolo Amarelo, textura média, de Terra Alta (PA), no segundo ciclo agrícola (2011) em função da aplicação de doses de calcário e gesso na profundidade de 0-20 cm.....	57
Figura 28: Capacidade de troca catiônica em Latossolo Amarelo, textura média, de Terra Alta (PA), no segundo ciclo agrícola (2011) em função da aplicação de doses de calcário e gesso na profundidade de 20-40 cm.....	57
Figura 29: Capacidade de troca catiônica em Latossolo Amarelo, textura média, de Terra Alta (PA), no terceiro ciclo agrícola (2012) em função da aplicação de doses de calcário e gesso na profundidade de 0-20 cm.....	58
Figura 30: Capacidade de troca catiônica em Latossolo Amarelo, textura média, de Terra Alta (PA), no terceiro ciclo agrícola (2012) em função da aplicação de doses de calcário e gesso na profundidade de 20-40 cm.....	58
Figura 31: Saturação por bases em Latossolo Amarelo, textura média, de Terra Alta (PA), no primeiro ciclo agrícola (2010) em função da aplicação de doses de calcário e gesso na profundidade de 0-20 cm.....	59

Figura 32: Saturação por bases em Latossolo Amarelo, textura média, de Terra Alta (PA), no primeiro ciclo agrícola (2010) em função da aplicação de doses de calcário e gesso na profundidade de 20-40 cm.	60
Figura 33: Saturação por bases em Latossolo Amarelo, textura média, de Terra Alta (PA), no segundo ciclo agrícola (2011) em função da aplicação de doses de calcário e gesso.....	60
Figura 34: Saturação por bases em Latossolo Amarelo, textura média, de Terra Alta (PA), no segundo ciclo agrícola (2011) em função da aplicação de doses de calcário e gesso na profundidade de 0-20 cm e 20-40 cm.....	61
Figura 35: Saturação por bases em Latossolo Amarelo, textura média, de Terra Alta (PA), no terceiro ciclo agrícola (2012) em função da aplicação de doses de calcário e gesso na profundidade de 0-20 cm.....	62
Figura 36: Saturação por bases em Latossolo Amarelo, textura média, de Terra Alta (PA), no terceiro ciclo agrícola (2012) em função da aplicação de doses de calcário e gesso na profundidade de 0-20 cm.....	62
Figura 37: Teor de fósforo em Latossolo Amarelo, textura média, de Terra Alta (PA). no primeiro ciclo agrícola (2010), em função das profundidades de 0-20 e 20-40 cm... ..	63
Figura 38: Teor de fósforo em Latossolo Amarelo, textura média, de Terra Alta (PA). no segundo ciclo agrícola (2011), em função da aplicação das doses de calcário e gesso na profundidade de 0-20 cm....	64
Figura 39: Teor de fósforo em Latossolo Amarelo, textura média, de Terra Alta (PA). no segundo ciclo agrícola (2011), em função da aplicação das doses de calcário e gesso na profundidade de 20-40 cm....	64
Figura 40: Teor de fósforo em Latossolo Amarelo, textura média, de Terra Alta (PA). no terceiro ciclo agrícola (2012), em função da aplicação das doses de gesso.	65
Figura 41: Teor de fósforo em Latossolo Amarelo, textura média, de Terra Alta (PA). no terceiro ciclo agrícola (2012), em função da aplicação das doses de calcário.....	65
Capítulo II	
Quadro 1: Características químicas de diferentes profundidades do Latossolo Amarelo da área experimental antes da instalação do experimento (Terra Alta, PA). Profundidade 0 a 20 cm e 20-40 cm.....	72
Figura 1: Teor de cálcio em folhas de milho cultivado em Latossolo Amarelo, textura média, de Terra Alta (PA), no primeiro ciclo agrícola (2010), em função da aplicação das doses de gesso.....	80
Figura 2: Teor de cálcio em folhas de milho cultivado em Latossolo Amarelo, textura média, de Terra Alta (PA). no primeiro ciclo agrícola (2010), em função da aplicação das doses de calcário.....	80
Figura 3: Teores de magnésio em folhas de milho cultivado em Latossolo Amarelo, textura média, de Terra Alta (PA), no primeiro ciclo agrícola (2010), em função da aplicação das doses de calcário.....	81
Figura 4: Teores de fósforo em folhas de milho cultivado em Latossolo Amarelo, textura média, de Terra Alta (PA), no segundo ciclo agrícola (2011), em função da aplicação das doses de calcário.....	82
Figura 5: Teores de cálcio em folhas de milho cultivado em Latossolo Amarelo, textura média, de Terra Alta (PA), no segundo ciclo agrícola (2011), em função da aplicação das doses de gesso.....	82
Figura 6: Teores de magnésio em folhas de milho cultivado em Latossolo Amarelo, textura média, de Terra Alta (PA), no segundo ciclo agrícola (2011), em função da aplicação das doses de calcário.....	83

Figura 7: Teores de fósforo em folhas de milho cultivado em Latossolo Amarelo, textura média, de Terra Alta (PA), no terceiro ciclo agrícola (2012), em função da aplicação das doses de calcário.....	83
Figura 8: Teores de magnésio em folhas de milho cultivado em Latossolo Amarelo, textura média, de Terra Alta (PA), no terceiro ciclo agrícola (2012), em função da aplicação das doses de gesso.....	83
Figura 9: Teores de cálcio em folhas de milho cultivado em Latossolo Amarelo, textura média, de Terra Alta (PA), no terceiro ciclo agrícola (2012), em função da aplicação das doses de calcário e gesso.....	85
Figura 10: Teores de magnésio em folhas de milho cultivado em Latossolo Amarelo, textura média, de Terra Alta (PA), no terceiro ciclo agrícola (2012), em função da aplicação das doses de calcário e gesso.....	85
Figura 11: Produtividade de grãos de milho no primeiro ciclo agrícola (2010), em função da aplicação de doses de calcário.....	86
Figura 12: Produtividade de grãos de milho no segundo ciclo agrícola (2011), em função da aplicação de doses de calcário e gesso.....	87
Figura 13: Produtividade de grãos de milho no terceiro ciclo agrícola (2012), em função da aplicação de doses de calcário e gesso.....	88

APÊNDICES

Apêndice 1: Resumo da análise de variância para os atributos químicos do solo no primeiro ciclo agrícola (2010) em Latossolo Amarelo distrófico, textura média em Terra Alta (PA)...93

Apêndice 2: Resumo da análise de variância para os atributos químicos do solo no segundo ciclo agrícola (2011) em Latossolo Amarelo distrófico, textura média em Terra Alta (PA)...94

Apêndice 3: Resumo da análise de variância para os atributos químicos do solo no terceiro ciclo agrícola (2012) em Latossolo Amarelo distrófico, textura média em Terra Alta (PA)...95

Apêndice 4: Resumo da análise de variância para os teores de nutrientes nas folhas do milho no primeiro ciclo agrícola (2010) em Latossolo Amarelo distrófico, textura média em Terra Alta (PA).....96

Apêndice 5: Resumo da análise de variância para os teores de nutrientes nas folhas do milho no segundo ciclo agrícola (2011) em Latossolo Amarelo distrófico, textura média em Terra Alta (PA).....96

Apêndice 6: Resumo da análise de variância para os teores de nutrientes nas folhas do milho no terceiro ciclo agrícola (2012) em Latossolo Amarelo distrófico, textura média em Terra Alta (PA).....97

Apêndice 7: Resumo da análise de variância para a produtividade de grãos de milho no primeiro ciclo agrícola (2010) em Latossolo Amarelo distrófico, textura média em Terra Alta (PA).....97

Apêndice 8: Resumo da análise de variância para a produtividade de grãos de milho no segundo ciclo agrícola (2011) em Latossolo Amarelo distrófico, textura média em Terra Alta (PA)...98

Apêndice 9: Resumo da análise de variância para a produtividade de grãos de milho no terceiro ciclo agrícola (2012) em Latossolo Amarelo distrófico, textura média em Terra Alta (PA)...98

Sumário

Resumo	
Abstract	
Contextualização	15
1.1 Revisão de Literatura	15
1.1.1 Sistemas de uso	15
1.1. 2 Calagem em sistemas de semeadura direta.....	19
1.1. 3 Gesso agrícola em sistemas de semeadura direta.....	20
Referências	23
2 ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO EM FUNÇÃO DA APLICAÇÃO SUPERFICIAL DE CALCÁRIO E GESSO EM SEMEADURA DIRETA	
Resumo	
Abstract	
2.1 Introdução	33
2.2 Material e métodos	34
2.2.1 Caracterização da área experimental.....	34
2.2.2 Delineamento experimental.....	34
2.2.3 Condução do experimento.....	35
2.2.4 Amostragem e análise do solo.....	36
2.2.5 Análise estatística.....	37
2.3 Resultados e discussão	37
2.3.1 Propriedades químicas do solo.....	37
2.3.1.1 pH.....	37
2.3.1.2 Alumínio trocável (Al^{3+}).....	40
2.3.1.3 Potássio trocável (K^{+}).....	43
2.3.1.4 Cálcio trocável (Ca^{2+}).....	46

2.3.1.5 Magnésio trocável	51
2.3.1.6 Capacidade de trocas de cátions (CTC).....	55
2.3.1.7 Saturação por base.....	59
2.3.1.8 Fósforo disponível (P).....	62

2.4 Conclusão

2.5 Referências

3 NUTRIÇÃO E PRODUTIVIDADE DE MILHO (*Zea mays*) EM FUNÇÃO DA APLICAÇÃO DE CALCÁRIO E GESSO EM SUPERFÍCIE

Resumo.....

Abstract.....

3.1 Introdução.....

3.2 Material e métodos..... 76

3.2.1 Caracterização de área experimental..... 76

3.2.2 Delineamento experimental e tratamentos..... 77

3.2.3 Histórico da área experimental e conclusão do experimento..... 77

3.2.4 Amostragem e análises de tecido vegetal..... 78

3.2.5 Análise estatística.....

3.3 Resultados.....

3.3.1 Análise nutricional do milho nos ciclos agrícolas..... 79

3.3.2 Produtividade de grãos..... 86

3.4 Conclusão.....

Referências.....

APÊNDICE.....

RESUMO

O sistema de semeadura direta é um manejo utilizado com uma alternativa para a produção agrícola. É um sistema que visa a conservação do meio ambiente através da redução de impactos negativos sobre o solo, devido práticas de queimadas ou do tráfego de máquinas sobre o mesmo. Entretanto, um dos principais problemas encontrados nesse tipo de sistema são práticas que visam a melhoria nas características químicas das camadas mais profundas sem que haja o revolvimento do solo. A combinação de doses de calcário e gesso pode promover alterações químicas no solo, nutricional e na produção de milho em sistema de semeadura direta. Objetivou-se com este estudo avaliar as alterações ocorridas nas características químicas do solo, teor nutricional de tecido vegetal e a produção de plantas de milho. O experimento foi realizado nos anos de 2010 a 2013, no município de Terra Alta, nordeste do Pará, no Campo Experimental da Embrapa em um Latossolo Amarelo distrófico, textura média. O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados em parcela subdividida, com três repetições, com os seguintes fatores: cinco doses de calcário (0, 1, 2, 3, 4) em $t\ ha^{-1}$ e três doses de gesso (0, 500, 1000) em $kg\ ha^{-1}$. Foi avaliada a fertilidade do solo por meio de amostras compostas retiradas das profundidades de 0-20 e 20-40 cm, o teor nutricional a partir da coleta de dez folhas maduras de milho por parcela e determinação da produtividade utilizando como área útil quatro linhas centrais das parcelas e após ser realizada a colheita as espigas foram separadas dos grãos. A aplicação de calcário e gesso proporcionou redução do alumínio trocável, aumento do pH e cátions básicos em superfície e ao longo do perfil avaliado, demonstrando um efeito residual e favorecendo a movimentação de bases, contribuiu para um aumento no teor nutricional do tecido vegetal, sendo refletido em uma maior produção de grãos nos quatro anos avaliados em virtude das doses aplicadas. Ao ser avaliado o ponto de máxima, foi possível verificar que a utilização de $3,64\ t\ ha^{-1}$ combinado com $500\ kg\ ha^{-1}$ de gesso fora responsável pelo maior incremento no teor de cálcio no solo na camada referente a 0-20 cm, enquanto que, na camada 20-40 cm, a utilização de $2,19\ t\ ha^{-1}$ de calcário combinado com $500\ kg\ ha^{-1}$ teve maior incremento no teor desse nutriente, apresentando redução a partir desse ponto. A combinação que proporcionou maior incremento no teor de cálcio+magnésio foi encontrado a partir da aplicação de $3,63\ t\ ha^{-1}$ de calcário combinado com $500\ kg\ ha^{-1}$ de gesso. Foi possível notar que a aplicação de 3,13 toneladas de calcário em conjunto com 500 kg de gesso fora responsável pelo aumento da ctc do solo. A partir da aplicação de 2,89 toneladas de calcário combinado com 500 kg de gesso, promoveram movimentação de bases, as quais contribuíram para aumento do V%, no entanto, o maior incremento ficou concentrado na superfície do solo

Palavras-chave: Semeadura direta, fertilidade do solo, produção de grãos, nutrição mineral.

ABSTRACT

The no-tillage system is a management currently used with an alternative to production. It is a method that aims at a less degradation of the environment through the lower production of negative impacts on the soil due to practices of burning or to make the traffic of machines on the ground. However, one of the main problems encountered in this type of system are tools that aim at better the chemical characteristics of the deeper layers without the soil being stirred. Thus, a combination of limestone and agricultural gypsum can contribute to the transport of bases along the soil profile contributing to its improvement and development of the plants. The objective of the study was to evaluate soil chemical experiments, nutritional content of plant tissue and a production of corn plants. The experiment in the years 2010 to 2013, in the municipality of Terra Alta, northeastern Pará, is not Experimental Field of Embrapa in a dystrophic Yellow Latosol, medium texture, the experimental design used in randomized blocks, with three replications, with the following factors: five doses of limestone (0, 1, 2, 3, 4) in $t\ ha^{-1}$ and three doses of gypsum (0, 500, 1000) in $kg\ ha^{-1}$. Soil fertility was evaluated by means of composite samples taken from the depths of 0-5, 5-10, 10-20 and 20-40 cm, nutritional content from the collection of leaves of corn ripened per plot and determination of the Produced as a useful area, four central lines of the plots and after being harvested as spikes were separated from the grains. The application of limestone and gypsum provided improvements in the chemical characteristics of the soil over the active agricultural years demonstrating a residual effect, contributed to a non - nutritional increase of the plant tissue, being reflected in a higher production of grains due to the applied doses. The application of limestone increased the exchangeable Ca and Mg contents, mainly in the superficial layers of the soil due to its low mobility rate in the system. When the maximum point was evaluated, it was possible to verify that the use of $3.64\ t\ ha^{-1}$ combined with $500\ kg\ ha^{-1}$ of gypsum was responsible for the greatest increase in the calcium content in the soil in the layer referring to 0-20 cm, while in the 20-40 cm layer, the use of $2.19\ t\ ha^{-1}$ limestone combined with $500\ kg\ ha^{-1}$ had the highest increase in the nutrient content, showing a reduction from that point. The combination that provided the greatest increase in the calcium + magnesium content was found from the application of $3.63\ t\ ha^{-1}$ of limestone combined with $500\ kg\ ha^{-1}$ of gypsum. It was possible to note that the application of 3.13 tons of limestone together with 500 kg of gypsum was responsible for the increase of the ctc of the soil. From the application of 2.89 tons of limestone combined with 500 kg of gypsum, they promoted base movement, which contributed to an increase of V%, however, the largest increment was concentrated in the soil surface.

Key words: Direct seeding, soil fertility, grain production, mineral nutrition.

1. CONTEXTUALIZAÇÃO

Os solos amazônicos são caracterizados pela intensa taxa de intemperismo decorrentes, principalmente, do elevado nível pluviométrico na região, que ocasiona alterações negativas, como elevada acidez, reduzido teor de nutrientes, reduzida capacidade de troca catiônica (FONTES *et al.*, 2001), o que torna necessário a utilização de corretivos para estabelecer níveis adequados do pH e de nutrientes necessários para o desenvolvimento e produção das culturas de interesse econômico.

Sistemas convencionais de cultivo são reponsáveis por ocasionar degradações físicas, as quais são refletidas em seus atributos químicos e biológicos, ocasionadas pelo uso de sistemas de manejo convencionais, proporcionando alterações negativas no sistema, tais como redução na retenção de água, porosidade e densidade (CHERUBIN *et al.*, 2015). O manejo convencional proporciona maior probabilidade de erosão, perdas do conteúdo de matéria orgânica, aumento da densidade do solo, resistência a penetração e menor taxa de mineralização, em decorrência da redução da atividade microbiana, formação de pé-de-grade devido ao tráfego intenso de maquinário (DRESCHER *et al.*, 2012; FIDALSKI; YAGI; TORMENA. 2015; SALES *et al.*, 2016). A não conservação do material de cobertura faz com que o solo fique sem proteção contra as ações do clima, e com a utilização desse solo, nessas condições, ocorrem alterações em processos físicos, químicos que estão relacionados ao lixiviamento de cátions básicos e predomínio de cátions ácidos, e biológicos (PORTUGAL *et al.*, 2012).

O sistema de semeadura direta (SSD) é um método conservacionista que preconiza a manutenção da palhada sobre o solo e o não revolvimento do mesmo, proporcionando diversos benefícios econômicos e ambientais, que incluem redução da erosão do solo, aumento no sequestro de carbono do solo, redução dos gastos com máquinas nos tratos culturais (SOANE *et al.*, 2012; JORIS *et al.*, 2016), entre outros. Esse método é recomendado para os sistemas de cultivos que visam conservações para o meio ambiente (LI *et al.*, 2016), pois o método proporciona, também, maior conservação da umidade do solo, em decorrência da menor taxa de evaporação do solo, devido a cobertura superficial (SCOPEL *et al.*, 2013). No entanto, os preceitos aplicados nesses sistemas de produção apresentam alguns problemas relacionados ao fornecimento de nutrientes com a aplicação da adubação de correção, pois o não revolvimento da área faz com que a distribuição do adubo não seja feita de forma uniforme, prejudicando o seu transporte para camadas subsuperficiais.

Para fazer a correção da acidez do solo, comumente, é utilizado o calcário dolomítico (CaCO_3) que através da sua dissociação ($\text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Ca}^{2+} + \text{HCO}_3^- + \text{OH}^-$) gera a formação do bicarbonato e hidroxilas que reagem com H^+ formando CO_2 e H_2O , resultando na neutralização da acidez do solo, porém o mesmo apresenta uma baixa taxa de movimentação ao longo do perfil do solo, não alterando os níveis de bases trocáveis em camadas subsuperficiais (MIYAZAWA *et al.*, 2012), sendo necessário a utilização do gesso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) que, devido à dissociação de enxofre presente quando em contato com água, é capaz de movimentar bases verticalmente no solo (BASSO *et al.*, 2016).

O gesso agrícola é um subproduto da indústria de produção de fertilizantes fosfatados com valor econômico reduzido ($\text{CaSO}_4 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Ca}^{2+} + \text{SO}_4^-$), e pode ser utilizado para auxiliar o tratamento de correção da acidez em conjunto com o calcário em camadas mais profundas. Esse subproduto é uma alternativa viável no mercado para tentar reduzir o tráfego de máquinas no solo, devido sua alta mobilidade, não há necessidade de realizar práticas corriqueiras como aração e gradagem para o revolvimento do solo, consequentemente, reduz as pressões sobre o solo e mantém as características importantes para o desenvolvimento do plantio.

1.1 Revisão de literatura

1.1.1 Sistemas de uso do solo

O sistema convencional de preparo do solo utiliza tráfego intensivo de maquinários pesados sobre a superfície do solo, ocasionam alterações na camada superficial. Além de colaborarem para a emissão de gases do efeito estufa, prejudicando o ambiente, são responsáveis, também, por gerarem numerosos problemas relacionados à sua sustentabilidade em função da deterioração da matéria orgânica do solo (MOS), redução de carbono orgânico do solo (COS), alterando negativamente seus atributos, bem como a biodiversidade (COSTA *et al.*, 2015). Esse sistema de cultivo é responsável, também, por aumentar a erosão, redução na infiltração de água devido a formação do pé-de-grade, atividade microbiana, acúmulo de nutrientes e matéria orgânica, favorecendo a redução da estabilidade dos agregados (LOSS *et al.*, 2015).

O sistema de semeadura direta é um método de produção que proporciona vários benefícios, como a elevação dos teores de matéria orgânica e da atividade microbiana,

responsável pela decomposição mais lenta dos resíduos orgânicos. Devido a sua proteção superficial proporciona temperaturas com menos oscilações, manutenção da umidade, reduz problemas com erosão laminar e perda dos nutrientes por lixiviação, dificulta o aparecimento de plantas competidora e favorece a complexação de formas de alumínio (MAULI *et al.*, 2011; CARVALHO; NASCENTE, 2014; VIEIRA *et al.*, 2012; KASSAM *et al.*, 2012).

Os sistemas de manejo do solo e da vegetação instalada provocam alterações nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, as quais podem ser, dependendo do sistema utilizado, permanentes ou passageiras (BAVOSO *et al.*, 2012). A concepção do SSD foi uma das maiores evoluções da agricultura brasileira desde a Revolução Verde (TIECHER *et al.*, 2014). A semeadura direta traz mudanças na forma como utilizar os recursos naturais sem que eles sofram sua completa deterioração, sendo, portanto, uma importante alternativa na produção para países produtores agrícolas (KRAEMER *et al.*, 2017; ROSA *et al.*, 2011). Esse sistema é responsável por economizar insumos, energia elétrica, maquinário, combustível, podendo alcançar uma economia, em média, de 70% no custo total da produção (FAO, 2012).

Dados apresentados pela Federação Brasileira de Plantio Direto na Palha (FEBPDP) mostram que cerca de 32 milhões de hectares estão sendo utilizados sob o sistema de semeadura direta em todo o Brasil (FEBRAPDP, 2014). O principal desafio enfrentado pela agricultura atualmente é conciliar desenvolvimento, produção, demanda alimentícia de forma sustentável, sem degradar o meio ambiente para a continuação de seu uso. O sistema de semeadura direta reduz a taxa de impacto na estrutura do solo, decorrentes dos maquinários utilizados, sendo indicado como uma alternativa sustentável para a produção (SILVA *et al.*, 2014).

A semeadura direta consiste no cultivo sem o revolvimento da terra, com a manutenção da cobertura de forma permanente sobre a superfície do solo, com resíduos vegetais durante todo o cultivo por meio de rotação, sucessão ou em consórcio, com o objetivo de protegê-lo do impacto direto das gotas de chuva e do escoamento superficial (TIECHER *et al.*, 2014). Apesar da quantidade de matéria orgânica ser muito menor, quando comparado a outros componentes do solo, as frações minerais contituíntes por exemplo, a mesma é a principal responsável pela manutenção e sustentabilidade dos ecossistemas (MANCIN *et al.*, 2013).

Em regiões tropicais, a mineralização do material orgânico é um processo biológico que acontece de forma intensa, em função da combinação das altas temperaturas e elevada umidade, na maior parte do ano, ocasionando dessa forma intensa decomposição (ALBUQUERQUE *et al.*, 2013). Nas regiões que possuem clima tropical e subtropical, a utilização desse sistema representa um dos principais recursos para efetivar a melhoria do solo, proporcionando a sustentabilidade da agricultura e diminuindo a perdas de nutrientes ocasionadas pela erosão (CAIRES *et al.*, 2008).

Com o uso mais frequente desse sistema é possível perceber a melhoria estrutura do solo, observada com o decorrer dos anos sob esse manejo, tornando-se uma prática eficaz no combate a perdas de solo e de água (BAVOSO *et al.*, 2012; LIMA *et al.*, 2012; STEWART *et al.*, 2017). Segundo VEROSENE *et al.* (2012); MITCHELL *et al.* (2017); CASTRO; CRUSCIOL (2012) a vegetação de cobertura tem importante função na proteção do solo devido as mesmas constituírem uma alternativa para aumentar a sustentabilidade dos sistemas produtivos e reduzir os impactos sobre o solo, contribuindo para a redução de doenças e pragas.

Um fator importante nesse sistema são os critérios de escolha das plantas que irão fazer parte da cobertura do solo para atender as exigências necessárias. Dentre as características intrínsecas do vegetal, é importante levar em consideração o potencial de produção de fitomassa assim como a aptidão de absorção e acúmulo de nutrientes (ALBUQUERQUE *et al.*, 2013; MODA *et al.*, 2014). A família das leguminosas é bastante utilizada em virtude da sua aptidão de fixação de nitrogênio em simbiose com bactérias do gênero *Rhizobium* (SILVA *et al.*, 2016).

Segundo ALVAREZ *et al.* (2014), a utilização do plantio sobre a palhada como forma de manejo do solo é responsável pela acumulação de carbono orgânico total e nitrogênio total quando comparado a outras formas de manejo da área. Outros benefícios apresentados são a maior retenção da umidade no solo, aumentando a quantidade de água disponível, controle de plantas daninhas e fornecimento de nutrientes pela decomposição da material orgânico (CRUZ; OLIVEIRA, 2014).

1.1.2 Calagem em sistema de semeadura direta

A acidificação do solo é um processo que ocorre naturalmente em função de fatores climáticos e características próprias do solo. No entanto esse processo pode ser amenizado através da utilização de práticas agrícolas adequadas, dentre elas, o uso do calcário (CASTRO *et al.*, 2016). No processo de acidificação do solo, pode haver situações em que os teores de alumínio podem encontrar-se em níveis tóxicos, comumente ocorrendo também a deficiência de cálcio em consequência desse quadro o crescimento de raízes pode ser afetado (RODRIGHERO *et al.*, 2015).

Em áreas sob sistemas de manejo convencional de preparo do solo, a calagem é realizada a partir da incorporação no terreno por meio de maquinários próprios. No entanto, esse método danifica drasticamente os agregados do solo, os quais são responsáveis pela manutenção da estrutura, reduzindo a susceptibilidade á erosão. Em contrapartida, no sistema de semeadura direta a adição do calário é realizada preservando as propriedades físicas e principalmente na manutenção da sustentabilidade (da COSTA *et al.*, 2015; CASTRO *et al.*, 2015).

Em semeadura direta, a adição de calcário é efetuada em superfície não havendo a incorporação do mesmo, promovendo a manutenção dos agregados do solo e agindo diretamente para a elevação do pH nas primeiras camadas, com isso, a comunidade microbiana tem sua atividade elevada em função de condições mais favoráveis para a sua ação (BRIEDIS *et al.*, 2012).

Devido a menor taxa de revolvimento do solo e maior compactação, a aplicação do calcário nas camadas superficiais não é efetiva na correção da acidez e o crescimento radicular é diretamente afetado em função das práticas de manejo quando comparados ao sistema convencional da área, onde há utilização de maquinários responsáveis por quebrar os torrões das primeiras camadas do solo, favorecendo dessa forma a incorporação do calcário nas camadas subsuperficiais (CURY *et al.*, 2014). Dessa maneira, a dificuldade enfrentada pelas raízes para exploração de recursos necessários para a sua sobrevivência no solo fica comprometida em sistemas sem revolvimento, sendo possível verificar as consequências dessa barreira física em prejuízo na produção da lavoura (KAHLON *et al.*, 2013; CORTEZ *et al.*, 2017).

A utilização da calagem superficial proporciona maior taxa de adsorção de metais, principalmente nas primeiras camadas. JORIS *et al.* (2011), avaliando a calagem em semeadura direta, constataram que os níveis de precipitação, principalmente nas primeiras

camadas de 0-10 cm, dos metais níquel, cádmio, cobre e zinco foram aumentados em função da calagem superficial, em virtude de ter ocorrido aumento dos níveis de pH do solo, demonstrando o papel importante da calagem na correção da acidez, a qual promove correção do pH, elevando assim os níveis de cargas negativas essenciais para a formação de complexos de baixa solubilidade e transporte de cálcio e magnésio mais profundamente no solo (SILVA *et al.*, 2015).

No entanto, é necessário avaliar com cautela os benefícios acerca da indisponibilidade de certos metais, cobre, zinco, manganês, devido os mesmos serem necessários para o desenvolvimento das culturas. De acordo com MOREIRA *et al.* (2017), a disponibilidade desses metais está diretamente relacionada ao aumento do aporte de matéria orgânica sob a superfície do solo. No entanto é possível observar também, em cultivos sob sistema de semeadura direta, a deficiência desses micronutrientes, tendendo a aumentar com o decorrer dos anos, devido às ligações dos mesmos com a matéria orgânica.

Em decorrência da baixa mobilidade do carbonato de cálcio no solo, as melhorias sobre a acidez ficam restritas às camadas superficiais do solo. Isso exige a busca de alternativas de manejo que possam minimizar esses efeitos negativos. A utilização do gesso em combinação com o calcário pode ser uma forma de promover a translocação das bases ao longo do perfil do solo, devido a alta mobilidade do produto, reduzindo os problemas decorrentes do não revolvimento do solo, verificados no plantio sobre a palhada.

1.1.3 Gesso agrícola em sistema de semeadura direta

O gesso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) é um subproduto da indústria de ácido fosfórico necessário para a fabricação de superfosfato triplo, fosfato monoamônico e fosfato diamônico (RAMPIM; LANA, 2015; SANTOS *et al.*, 2013), sendo amplamente utilizado na agricultura brasileira por promover melhorias ao longo do perfil do solo no que diz respeito à redução da atividade e saturação do alumínio. (ARAÚJO *et al.*, 2017).

O sistema convencional de manejo do solo é responsável por ocasionar alterações nas características químicas, físicas e biológicas do solo, proporcionou modificações na morfologia e distribuição das raízes devido ao aumento da resistência a penetração, as quais em períodos de verão veem a necessidade de expansão à procura de nutrientes em camadas profundas, encontrando nesse ambiente condições ácidas devido elevado

teor de cátions ácidos os quais prejudicam o crescimento radicular e conseqüentemente a absorção de nutrientes (SUMNER; JAYAWARDANE, 1994).

Seguindo as diretrizes do sistema de semeadura direta, sem o revolvimento do solo para a incorporação de corretivos para mitigar a acidez do solo, o gesso é um produto útil à disposição dos agricultores para a melhoria no que tange as características químicas devido a movimentação de bases nas camadas subsuperficiais. (SILVA *et al.*, 1997)

O gesso é um produto utilizado para favorecer a movimentação de bases para as camadas mais profundas sob a influência da percolação da água, sendo uma das principais fontes de cálcio e enxofre, além de ser um produto de baixo custo de aquisição e contribuir para floculação das partículas do solo, o que favorece a melhoria da agregação e estruturação do solo (SOUZA *et al.*, 2012; VICENSI *et al.*, 2016). De acordo com MAIO *et al.* (2011) e INAGAKI *et al.* (2016), o cálcio é um elemento essencial para a estabilização da matéria orgânica do solo e dos agregados, promovendo o aumento do grau de agregação do solo, em virtude do seu papel no desenvolvimento de complexos com a argila e a matéria orgânica por meio de pontes catiônicas ocasionadas pelo aumento do grau da floculação.

Em consequência da alta taxa de mobilidade e solubilidade do gesso (em torno de cento e cinquenta vezes maior quando comparado ao carbonato de cálcio), ao longo do perfil do solo (CRUSCIOL *et al.*, 2014), tem sido verificado aumento da fertilidade nos horizontes mais profundos, permitindo que o crescimento de raiz possa ser realizado em busca de recursos necessários para a sua sobrevivência, principalmente em veranicos (MICHALOVICZ *et al.*, 2014; ARF *et al.*, 2014). Segundo COSTA *et al.* (2016), o uso do gesso agrícola é capaz de melhorar a infiltração de água no solo, diminuir a taxa de compactação e contribuir diretamente para o aumento da produção agrícola.

O sulfato de cálcio é um sal mais solúvel do que o carbonato de cálcio e por isso possui maior facilidade de solubilização com a chuva, favorecendo a movimentação de íons Mg^{2+} , Ca^{2+} , K^+ para o subsolo (GUIMARÃES *et al.*, 2015; ROSSATO *et al.*, 2017). Entretanto, é comum a ocorrência de deficiência dessas bases em solos que passaram por intensa doses de gesso, devido a facilidade de ligação com o sulfato formando $MgSO_4$, $CaSO_4$, K_2SO_4 , podendo ser intensamente carregados para regiões onde as raízes dos vegetais não conseguem acessar (RAMOS *et al.*, 2013).

A movimentação dos cátions após a aplicação de gesso em sistemas de semeadura direta, têm apresentado quantidades pouco expressivas (CAIRES *et al.*, 2004). Além disso, a redução das concentrações de Al^{3+} nas camadas mais inferiores ocorre devido a

adição da molécula de sulfato, a qual, quando em contato com o Al^{3+} forma pares iônicos complexados $\text{Al}(\text{SO}_4)^+$, tornando-o indisponível para a absorção das raízes (CAIRES *et al.*, 2011a).

Nesse contexto, a aplicação combinada de calcário e gesso no solo pode ser uma prática de manejo viável para promover a melhoria do ambiente radicular das plantas cultivadas sob sistema de semeadura direta. No entanto, praticamente inexistem informações da utilização dessa prática nas condições edafoclimáticas do Pará, requerendo maiores pesquisas que possam permitir o uso adequado desses produtos dentro de parâmetros técnicos para sua aplicação.

REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, A. D., SANTOS, J. R., MOURA FILHO, G., & REIS, L. S. (2013). Plantas de cobertura e adubação nitrogenada na produção de milho em sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande**, 17(7), 721-726.
- ALVAREZ, C., ALVAREZ, C. R., COSTANTINI, A., & BASANTA, M. (2014). Carbon and nitrogen sequestration in soils under different management in the semi-arid Pampa (Argentina). **Soil and Tillage Research**, 142, 25-31.
- ARAÚJO, L. G., FIGUEIREDO, C. C., & SOUSA, D. M. G. (2017). Gypsum application increases the carbon stock in soil under sugar cane in the Cerrado region of Brazil. **Soil Research**, 55(1), 38-46.
- ARF, O., RODRIGUES, R. A., NASCENTE, A. S., & LACERDA, M. C. (2014). Gesso aplicado na superfície do solo no desenvolvimento do arroz de terras altas sob plantio direto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 1136-1141.
- BASSO, C. J., SOMAVILLA, L., da SILVA, R. F., & SANTI, A. L. (2016). Intervenção mecânica e gesso agrícola para mitigar o gradiente vertical de cátions sob sistema de plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, 45(4), 456-463.
- BAVOSO, M. A., SILVA, A. P. D., Figueiredo, G. C., TORMENA, C. A., & GIAROLA, N. F. B. (2012). Resiliência física de dois Latossolos Vermelhos sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 36(6), 1892-1904.
- BRIEDIS, C., DE MORAES SÁ, J. C., CAIRES, E. F., DE FÁTIMA NAVARRO, J., INAGAKI, T. M., & DE OLIVEIRA FERREIRA, A. (2012). Carbono do solo e atributos de fertilidade em resposta à calagem superficial em plantio direto. **Pesquisa agropecuária brasileira**, 47(7), 1009-1016.
- CAIRES, E. F., BLUM, J., BARTH, G., GARBUIO, F. J., & KUSMAN, M. T. (2003). 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**, 27(2), 275-286.
- CAIRES, E. F., GARBUIO, F. J., CHURKA, S., BARTH, G., & CORREA, J. C. L. (2008). Effects of soil acidity amelioration by surface liming on no-till corn, soybean, and wheat root growth and yield. **European Journal of Agronomy**, 28(1), 57-64.
- CAIRES, E. F., JORIS, H. A. W., & CHURKA, S. (2011). Long-term effects of lime and gypsum additions on no-till corn and soybean yield and soil chemical properties in southern Brazil. **Soil Use and Management**, 27(1), 45-53.
- CAIRES, Eduardo Fávero. CONTROLE DA ACIDEZ DO SOLO NO SISTEMA PLANTIO DIRETO.

CARVALHO, M. D. C. S., & NASCENTE, A. S. (2014). Calcário, gesso e efeito residual de fertilizantes na produção de biomassa e ciclagem de nutrientes de milho1. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, 44(4), 370-380.

CASTRO, G. S. A., & CRUSCIOL, C. A. C. (2013). Effects of superficial liming and silicate application on soil fertility and crop yield under rotation. **Geoderma**, 195, 234-242.

CASTRO, G. S. A., & CRUSCIOL, C. A. C. (2015). Effects of surface application of dolomitic limestone and calcium-magnesium silicate on soybean and maize in rotation with green manure in a tropical region. **Bragantia**, 74(3), 311-321.

CASTRO, G. S. A., CRUSCIOL, C. A. C., DA COSTA, C. H. M., FERRARI NETO, J., & MANCUSO, M. A. C. (2016). Surface application of limestone and calcium-magnesium silicate in a tropical no-tillage system. **Journal of soil science and plant nutrition**, 16(2), 362-379.

CORTEZ, J. W., MAUAD, M., DE SOUZA, L. C., RUFINO, M. V., & DE SOUZA, P. H. (2017). Agronomical attributes of soybeans and soil resistance to penetration in no-tillage and chiseled surfaces. **Engenharia Agrícola**, 37(1), 98-105.

COSTA, C. H. M. D., CRUSCIOL, C. A. C., FERRARI NETO, J., & CASTRO, G. S. A. (2016). Residual effects of superficial liming on tropical soil under no-tillage system. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 51(9), 1633-1642.

COSTA, N. R., ANDREOTTI, M., LOPES, K. S. M., YOKOBATAKE, K. L., FERREIRA, J. P., PARIZ, C. M., ... & LONGHINI, V. Z. (2015). Atributos do Solo e Acúmulo de Carbono na Integração Lavoura-Pecuária em Sistema Plantio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 39(3), 852-863.

CHERUBIN, M. R., TONINI EITELWEIN, M., FABBRIS, C., WOLNEI WEIRICH, S., FERREIRA DA SILVA, R., RODRIGUES da Silva, V., & Basso, C. J. (2015). Qualidade física, química e biológica de um Latossolo com diferentes manejos e fertilizantes. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 39(2).

CRUSCIOL, C. A. C., FOLTRAN, R., ROSSATO, O. B., MCCRAY, J. M., & ROSSETTO, R. (2014). Effects of surface application of calcium-magnesium silicate and gypsum on soil fertility and sugarcane yield. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 38(6), 1843-1854.

CURY, T. N., DE MARIA, I. C., & BOLONHEZI, D. (2014). Biomassa radicular da cultura de cana-de-açúcar em sistema convencional e plantio direto com e sem calcário. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 38(6), 1929-1938.

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

CRUZ, J. F., de OLIVEIRA, TADÁRIO K. Desempenho agrônômico de variedades de feijoeiro no sistema plantio direto. **Revista Caatinga**, v. 27, n. 3, p. 83-89, 2014.

da SILVA, A. P., BABUJIA, L. C., FRANCHINI, J. C., RALISCH, R., HUNGRIA, M., & DE FÁTIMA GUIMARÃES, M. (2014). Soil structure and its influence on microbial biomass in different soil and crop management systems. **Soil and Tillage Research**, 142, 42-53.

DANNER, M. A., CITADIN, I. U., SASSO, S. A. Z. U., ZARTH, N. A. U., & MAZARO, S. M. U. (2009). Fontes de cálcio aplicadas no solo e sua relação com a qualidade da uva 'Vênus'. **Revista Brasileira de Fruticultura**.

DANNER, M. A., SCARIOTTO, S., CITADIN, I., PENSO, G. A., & CASSOL, L. C. (2015). Calcium sources applied to soil can replace leaf application in 'Fuji' apple tree1. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, 45(3), 266-273.

de OLIVEIRA FERREIRA, A., CARNEIRO AMADO, T. J., DALLA NORA, D., KELLER, C., & PIVOTTO BORTOLOTTI, R. (2013). Mudança no conteúdo de carbono e cálcio em latossolo melhorado por gesso e calcário no Rio Grande Do Sul. **Ciencia del suelo**, 31(1), 1-13.

dos SANTOS, R. L., FREIRE, F. J., DE AZEVEDO, V. M., DA ROCHA, A. T., & TAVARES, J. A. (2013). Produção de capim elefante e movimentação de cátions em função de gesso mineral. **R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, 17(10), 1030-1037.

DRESCHER, M. S., ELTZ, F. L. F., DENARDIN, J. E., FAGANELLO, A., & DRESCHER, G. L. (2012). Resistência à penetração e rendimento da soja após intervenção mecânica em Latossolo Vermelho sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 36(6), 1836-1844.

FEDERAÇÃO BRASILEIRA DE PLANTIO DIRETO NA PALHA – FEBRAPDP. Brasil. Evolução da área cultivada em plantio direto. Disponível em: http://febrapdp.org.br/download/EVOLUCAO_DO_SPD_NO_PARANA_2014.pdf

FIDALSKI, J., YAGI, R., & TORMENA, C. A. (2015). Revolvimento Ocasional e Calagem em Latossolo Muito Argiloso em Sistema Plantio Direto Consolidado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 39(5).

FLOWER, K. C.; CRABTREE, W. L. Soil pH change after surface application of lime related to the levels of soil disturbance caused by no-tillage seeding machinery. **Field Crops Research**, v. 121, n. 1, p. 75-87, 2011.

FONTES, M. P. F., CAMARGO, O. D., & SPOSITO, G. (2001). Eletroquímica das partículas coloidais e sua relação com a mineralogia de solos altamente intemperizados. **Scientia Agricola**, 58(3), 627-646.

FRIEDRICH, THEODOR; KASSAM, AMIR. No-till farming and the environment: do no-till systems require more chemicals?. **Outlooks on Pest Management**, v. 23, n. 4, p. 153-157, 2012.

GUIMARÃES, A. M., CAIRES, E. F., SILVA, K. S. D., & ROCHA, J. C. F. D. (2015). Estimating gypsum requirement under no-till based on machine learning technique. **Revista Ciência Agronômica**, 46(2), 250-257.

INAGAKI, T. M., DE MORAES SÁ, J. C., CAIRES, E. F., & GONÇALVES, D. R. P. (2016). Lime and gypsum application increases biological activity, carbon pools, and agronomic productivity in highly weathered soil. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, 231, 156-165.

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

JORIS, H. A. W., DA FONSECA, A. F., ASAMI, V. Y., BRIEDIS, C., BORSZOWSKI, P. R., & GARBUIO, F. J. (2011). Adsorção de metais pesados após calagem superficial em um Latossolo Vermelho sob sistema de plantio direto. **Revista Ciência Agrônômica**, 43(1), 1-10.

JUNIO, Z., GERALDO, R., SAMPAIO, R. A., NASCIMENTO, A. L., FERNANDES, L. A., LIMA, N. N. D., & CARNEIRO, J. P. (2015). Attributes of the soil fertilized with sewage sludge and calcium and magnesium silicate. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 19(11), 1107-1113.

KAHLON, M. S., LAL, R., & ANN-VARUGHESE, M. (2013). Twenty two years of tillage and mulching impacts on soil physical characteristics and carbon sequestration in Central Ohio. **Soil and Tillage Research**, 126, 151-158.

KASSAM A, FRIEDRICH T, DERPSCH R, DERPSCH R, LAHMAR R, MRABET R, BASCH G, GONZÁLEZ-SÁNCHEZ EJ, SERRAJ R (2012) Conservation agriculture in the dry Mediterranean climate. **Field Crop Research** 132:7–17.

KRAEMER, F. B., SORIA, M. A., CASTIGLIONI, M. G., DUVAL, M., GALANTINI, J., & MORRÁS, H. (2017). Morpho-structural evaluation of various soils subjected to different use intensity under no-tillage. **Soil and Tillage Research**, 169, 124-137.

LI, H., MOLLIER, A., ZIADI, N., SHI, Y., PARENT, L. É., & MOREL, C. (2016). The long-term effects of tillage practice and phosphorus fertilization on the distribution and morphology of corn root. **Plant and Soil**, 1-18.

LIMA, M. E. D., CARVALHO, D. F. D., SOUZA, A. P. D., ROCHA, H. S., & GUERRA, J. G. (2012). Desempenho do cultivo da berinjela em plantio direto submetida a diferentes lâminas de irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 16(6), 604-610.

LOSS, A., BASSO, A., OLIVEIRA, B. S., DE PAULA KOUCHER, L., ASSIS DE OLIVEIRA, R., KURTZ, C., ... & COMIN, J. J. (2015). Carbono orgânico total e agregação do solo em sistema de plantio direto agroecológico e convencional de cebola. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 39(4).

MAIO, M. M., SAMPAIO, R. A., NASCIMENTO, A. L., PRATES, F. B. S., RODRIGUES, M. N., & SILVA, H. P. (2011). Atributos físicos do solo, adubado com lodo de esgoto e silicato de cálcio e magnésio. **Revista Ceres**, 58(6), 823-830.

- MANCIN, C. R., DE SOUZA, L. C. F., VITORINO, A. C. T., PEREIRA, S. B., ZANON, G. D., & DA SILVA, F. P. M. (2013). Organic matter in a dystroferric Red Latossol under no-tillage Matéria orgânica em um Latossolo Vermelho distroférico sob sistema plantio direto consolidado. **Semina: Ciências Agrárias, Londrina**, 34(2), 635-648.
- MAULI, M. M., NÓBREGA, L. H. P., ROSA, D. M., LIMA, G. P. D., & RALISH, R. (2011). Variation on the amount of winter cover crops residues on weeds incidence and soil seed bank during an agricultural year. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, 54(4), 683-690.
- MICHALOVICZ, L., MÜLLER, M. M. L., FOLONI, J. S. S., KAWAKAMI, J., NASCIMENTO, R. D., & KRAMER, L. F. M. (2014). Soil fertility, nutrition and yield of maize and barley with gypsum application on soil surface in no-till. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 38(5), 1496-1505.
- MITCHELL, J. P., SHRESTHA, A., MATHESIUS, K., SCOW, K. M., SOUTHARD, R. J., HANEY, R. L., & HORWATH, W. R. (2017). Cover cropping and no-tillage improve soil health in an arid irrigated cropping system in California's San Joaquin Valley, USA. **Soil and Tillage Research**, 165, 325-335.
- MIYAZAWA, M., PAVAN, M. A., & FRANCHINI, J. C. (2002). Evaluation of plant residues on the mobility of surface applied lime. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, 45(3), 251-256.
- MODA, L. R., DOS SANTOS, C. L. R., FLORES, R. A., BORGES, B. M. M. N., ANDRIOLI, I., & DE MELLO PRADO, R. (2014). Response of corn grown in tillage system for the application of nitrogen doses in a sequence of plant cover. *Bioscience Journal*, 30(3).
- MOREIRA, S. G., PROCHNOW, L. I., PAULETTI, V., SILVA, B. M., KIEHL, J. D. C., & SILVA, C. G. M. (2017). Effect of liming on micronutrient availability to soybean grown in soil under different lengths of time under no tillage. **Acta Scientiarum. Agronomy**, 39(1), 89-97.
- MÜLLER, M. M. L., TORMENA, C. A., GENÚ, A. M., KRAMER, L. F. M., MICHALOVICZ, L., & CAIRES, E. F. (2012). Structural quality of a no-tillage red latosol 50 months after gypsum application. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 36(3), 1005-1014.
- NARIMATSU, K. C., DE MELLO, L. M., DOMINGUES, L. A., CHIODEROLI, C. A., & LIMA, R. C. (2014). Corn productivity in function of surface application of lime in differents management systems and cultural preparation. **Revista Engenharia Agrícola**, 34(2), 254-262.
- NATALE, W., ROZANE, D. E., PARENT, L. E., & PARENT, S. É. (2012). Soil acidity and liming in tropical fruit orchards. **Revista Brasileira de Fruticultura**, 34(4), 1294-1306.

PAULETTI, V., PIERRI, L. D., RANZAN, T., BARTH, G., & MOTTA, A. C. V. (2014). Long-term effects of the application of gypsum and lime in a no-till system. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 38(2), 495-505.

PLAZA, C., COURTIER-MURIAS, D., FERNÁNDEZ, J. M., POLO, A., & SIMPSON, A. J. (2013). Physical, chemical, and biochemical mechanisms of soil organic matter stabilization under conservation tillage systems: a central role for microbes and microbial by-products in C sequestration. **Soil Biology and Biochemistry**, 57, 124-134.

PORTUGAL, A., FONTES, L., LANI, J., SCHAEFER, C., & FERNANDES FILHO, E. I. (2012). Alterações em propriedades físicas do solo em ecossistemas de floresta após a implantação de pastagem no extremo oeste do Acre. Uso sustentável de ecossistemas de pastagens cultivadas na Amazônia Ocidental. Rio Branco: **SEMA**.

RAMOS, B. Z., TOLEDO, J. P. V. F., DE LIMA, J. M., SERAFIM, M. E., BASTOS, A. R. R., GUIMARÃES, P. T. G., & COSCIONE, A. R. (2013). Doses de gesso em cafeeiro: influência nos teores de cálcio, magnésio, potássio e ph na solução de um latossolo vermelho distrófico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 37(4), 1018-1026.

RAMPIM, L., & DO CARMO LANA, M. (2015). Ion mobility and base saturation after gypsum application in continuous soybean-wheat cropping system under no-till. **Australian Journal of Crop Science**, 9(6), 468.

RIBEIRO, L. D. S., OLIVEIRA, I. R. D., DANTAS, J. S., SILVA, C. V. D., SILVA, G. B. D., & Azevedo, J. R. D. (2016). Spatial variability of physical attributes of a cohesive soil under conventional and no-tillage management systems. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 51(9), 1699-1702.

RODRIGHERO, M. B., BARTH, G., & CAIRES, E. F. (2015). Surface application of lime with different magnesium contents and particle sizes under a no-till system. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 39(6), 1723-1736.

RODRIGUES, F. A. V., ALVAREZ, V., DE BARROS, N. F., DA SILVA, I. R., & NEVES, J. C. L. (2016). Productivity of eucalypt at 18 months of age, in Cerrado region, in response to application of calcium, by lime and to gypsum amendments. **Scientia Forestalis**, 44(109), 67-74.

ROSA, D. M.; NÓBREGA, L. H. P.; LIMA, G. P.; MAULI, M. M. Desempenho da cultura do milho implantada sobre resíduos culturais de leguminosas de verão em sistema plantio direto. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 32, n. 4, p. 1287-1296, 2011.

ROSOLEM, C.A.; CALONEGO, J.C.; FOLONI, J.S.S. Potassium leaching from millet straw as affected by rainfall and potassium rates. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.36,p.1063-1074, 2005.

ROSSATO, O. B., FOLTRAN, R., CRUSCIOL, C. A. C., MARTELLO, J. M., ROSSETTO, R., & MCCRAY, J. M. (2017). Soil fertility, ratoon sugarcane yield, and post-harvest residues as affected by surface application of lime and gypsum in southeastern Brazil. **Bioscience Journal**, 33(2).

SALES, R. P., PORTUGAL, A. F., MOREIRA, J. A., KONDO, M. K., & PEGORARO, R. F. (2016). Qualidade física de um Latossolo sob plantio direto e preparo convencional no semiárido. **Revista Ciência Agronômica**, 47(3), 429.

SCOPEL E, TRIOMPHE B, AFFHOLDER F, MACENA DA SILVA FA, CORBEELS M, VALADARES XAVIER JH, LAHMAR R, RECOUS S, BERNOUX M, BLANCHART E, MENDES IC, DE TOURDONNET S (2013) Conservation agriculture cropping systems in temperate and tropical conditions, performances and impacts. A review. **Agronomy for Sustainable Development** 33:113–130

SILVA, N., VAN RAIJ, B. E. R. N. A. R. D. O., CARVALHO, L. H. D., BATAGLIA, O. C., & KONDO, J. I. (1997). Efeitos do calcário e do gesso nas características químicas do solo e na cultura do algodão. **Bragantia**, 56(2), 389-401.

SILVA, E. C. D., MURAOKA, T., FRANZINI, V. I., SAKADEVAN, K., BUZETTI, S., ARF, O., ... & SOARES, F. A. L. (2016). Use of nitrogen from fertilizer and cover crops by upland rice in an Oxisol under no-tillage in the Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 51(6), 728-737.

SILVA, F. C. M. D., SACHS, L. G., FONSECA, I. C. B., & TAVARES FILHO, J. (2015). Liming in Agricultural Production Models with and Without the Adoption of Crop-Livestock Integration. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 39(5), 1463-1472.

SOANE B. D., BALL B. C., ARVIDSSON J, BASCH G, MORENO F, ROGER-ESTRADE J (2012). No-till in northern, western and southwestern Europe: a review of problems and opportunities for crop production and the environment. **Soil Tillage Research** 118: 66–87.

SOUZA, F. R. D., JUNIOR, R., JARDIM, E., FIETZ, C. R., PELLIN, D. M. P., BERGAMIN, A. C., ... & ROSA, Y. B. C. J. (2012). Morphology and stability of aggregates of an Oxisol according to tillage system and gypsum application. **Revista Ceres**, 59(6), 859-866.

SUMNER, M. E., & JAYAWARDANE, N. J. (1994). Amelioration of subsoil acidity with minimum disturbance. **Subsoil Management Techniques**. Eds. *NJ Jayawardane and BA Steward*, 147-185.

STEWART, C. E., HALVORSON, A. D., & DELGADO, J. A. (2017). Long-term N fertilization and conservation tillage practices conserve surface but not profile SOC stocks under semi-arid irrigated corn. **Soil and Tillage Research**, 171, 9-18.

TIECHER, T., MINELLA, J. P. G., Miguel, P., Alvarez, J. W. R., Pellegrini, A., Capoane, V., ... & Rheinheimer, D. S. (2014). Contribuição das fontes de sedimentos em uma bacia hidrográfica agrícola sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, 38, 639-649.

TIRITAN, C. S., BÜLL, L. T., CRUSCIOL, C. A., CARMEIS FILHO, A. C., FERNANDES, D. M., & NASCENTE, A. S. (2016). Tillage system and lime application in a tropical region: Soil chemical fertility and corn yield in succession to degraded pastures. **Soil and Tillage Research**, 155, 437-447.

VERONESE, M., FRANCISCO, E. A. B., ZANCANARO, L., & ROSOLEM, C. A. (2012). Plantas de cobertura e calagem na implantação do sistema plantio direto. **Pesquisa agropecuária brasileira**, 47(8), 1158-1165.

VICENSI, M., MÜLLER, M. M. L., KAWAKAMI, J., NASCIMENTO, R. D., MICHALOVICZ, L., & LOPES, C. (2016). Do Rates and Splitting of Phosphogypsum Applications Influence the Soil and Annual Crops in a No-Tillage System. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 40.

YAGIOKA, A., KOMATSUZAKI, M., KANEKO, N., & UENO, H. (2015). Effect of no-tillage with weed cover mulching versus conventional tillage on global warming potential and nitrate leaching. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, 200, 42-53.

CAPÍTULO I: ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO EM FUNÇÃO DA APLICAÇÃO SUPERFICIAL DE CALCÁRIO E GESSO EM SEMEADURA DIRETA

RESUMO

O uso inadequado do solo, em função do manejo convencional acarreta diversos problemas relacionados a sustentabilidade do meio ambiente. As alterações ocorridas em suas características químicas provocam, ao logo dos anos, uma perda considerável da qualidade, sendo refletida na capacidade de produção. Tendo em vista os prejuízos ocasionados pela má gestão dos recursos, torna-se necessário a utilização de meios alternativos que visem a redução de impactos sobre o solo, sem que haja perdas no que tange a produção. O objetivo deste trabalho foi avaliar as alterações dos atributos químicos do solo (pH (H₂O), Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺, Al³⁺, P, CTC e V%) em função da aplicação de calcário associada ou não a aplicação de gesso agrícola em superfície em sistema de semeadura direta. O experimento foi conduzido em um Latossolo Amarelo distrófico no município de Terra Alta (PA). Os tratamentos, dispostos em blocos casualizados em parcelas subdivididas, com três repetições, tiveram aplicação nas mesmas de cinco doses de calcário (0, 1, 2, 3, 4) t ha⁻¹, com e sem gesso agrícola (0, 500, 1000) kg ha⁻¹. Amostras de solo foram coletadas nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm 30 dias após a aplicação dos produtos. As doses de calcário, tanto na presença quanto na ausência de gesso, proporcionaram elevação do pH do solo, gerando uma frente de correção da acidez ao longo do tempo, demonstrando seu efeito residual. A aplicação de calcário elevou os teores de Ca e Mg trocável, principalmente nas camadas superficiais do solo em função da sua baixa taxa de mobilidade no sistema. Ao ser avaliado o ponto de máxima, foi possível verificar que a utilização de 3,64 t ha⁻¹ combinado com 500 kg ha⁻¹ de gesso fora responsável pelo maior incremento no teor de cálcio no solo na camada referente a 0-20 cm, enquanto que, na camada 20-40 cm, a utilização de 2,19 t ha⁻¹ de calcário combinado com 500 kg ha⁻¹ teve maior incremento no teor desse nutriente, apresentando redução a partir desse ponto. A combinação que proporcionou maior incremento no teor de cálcio+magnésio foi encontrado a partir da aplicação de 3,63 t ha⁻¹ de calcário combinado com 500 kg ha⁻¹ de gesso. Foi possível notar que a aplicação de 3,13 toneladas de calcário em conjunto com 500 kg de gesso fora responsável pelo aumento da ctc do solo. A partir da aplicação de 2,89 toneladas de calcário combinado com 500 kg de gesso, promoveram movimentação de bases, as quais contribuíram para aumento do V%, no entanto, o maior incremento ficou concentrado na superfície do solo.

Palavras-chave: Fertilidade do solo, corretivos agrícolas, práticas conservacionistas.

ABSTRACT

The inadequate use of the soil, due to the conventional handling, Resins in their chemical characteristics cause, to the years, a considerable loss of quality, being reflected in the production capacity. In view of the damage caused by the management of resources, it is necessary to use alternative means that aim to reduce investment in the soil, without prejudice to the fact that there is no production. (PH, H₂O, Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺, Al³⁺, P, CTC and V%) in the no-tillage system. The experiment was conducted in a dystrophic yellow Latosol in the municipality of Terra Alta (PA). The treatments, randomized blocks in subdivided plots, with three replicates, received the application in the same five limestone doses (0, 1, 2, 3, 4) t ha⁻¹, with and without agricultural gypsum (0, 500, 1000) kg ha⁻¹. Soil samples were collected at depths of 0-20 and 20-40 cm 30 days after application of the products. As limestone doses, both in the absence of gypsum, provided a rise in pH of the soil, generating a front of correction of the acidity over time, demonstrating its residual effect. The application of limestone increased the exchangeable Ca and Mg contents, mainly in the superficial layers of the soil due to its low mobility rate in the system. When the maximum point was evaluated, it was possible to verify that the use of 3.64 t ha⁻¹ combined with 500 kg ha⁻¹ of gypsum was responsible for the greatest increase in the calcium content in the soil in the layer referring to 0-20 cm, while in the 20-40 cm layer, the use of 2.19 t ha⁻¹ limestone combined with 500 kg ha⁻¹ had the highest increase in the nutrient content, showing a reduction from that point. The combination that provided the greatest increase in the calcium + magnesium content was found from the application of 3.63 t ha⁻¹ of limestone combined with 500 kg ha⁻¹ of gypsum. It was possible to note that the application of 3.13 tons of limestone together with 500 kg of gypsum was responsible for the increase of the ctc of the soil. From the application of 2.89 tons of limestone combined with 500 kg of gypsum, they promoted base movement, which contributed to an increase of V%, however, the largest increment was concentrated in the soil surface.

Keywords: Soil fertility, agricultural correctives, conservation practices

2.1 INTRODUÇÃO

Dentre as principais limitações encontradas para produção agrícola, destacam-se o caráter ácido, o alto teor de alumínio, a baixa concentração de cátions Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^{+} , situação predominante no Brasil em função do sistema convencional adotado (BRAVIN; OLIVEIRA, 2014). Os principais problemas ocasionados por esse sistema estão relacionados ao aumento da compactação do solo, redução da infiltração de água, redução do aporte de resíduos vegetais, problemas gerados em função do intenso preparo do solo com gradagens e arações (LUCIANO *et al.*, 2012; BEUTLER *et al.*, 2014; FONTANA *et al.*, 2016). Nesse sentido, o sistema de semeadura direta (SSD) é utilizado para mitigar os processos de degradação do solo, tendo em vista a redução dos impactos gerados sob o solo.

O uso de sistemas conservacionistas tem sido adotado para a produção agrícola visando a manutenção dos recursos naturais. O sistema de semeadura direta é uma alternativa utilizada para reduzir impactos quanto a qualidade do solo. É responsável por aumentar o aporte de matéria orgânica em função da produção e permanência contínua de resíduos vegetais das culturas e promover melhorias na ciclagem de nutrientes (TORRES *et al.*, 2015; VALADÃO *et al.*, 2015), controle da erosão, conservação da umidade, elevação da matéria orgânica (MO), atividade biológica e melhora a estabilidade dos agregados (AZEVEDO *et al.*, 2007; CARVALHO *et al.*, 2010; LIMA; SILVA; SILVA, 2013).

Apesar dos benefícios observados na literatura, o SSD possui entraves relacionados a manutenção dos atributos químicos. O não revolvimento do solo faz com que as correções da acidez através da aplicação de corretivos sejam realizadas à laço sobre a superfície, o que ocasiona, geralmente, melhorias apenas nas camadas superficiais (FILHO *et al.*, 2016). Problemas relatados, também, ao ser aplicado fertilizantes, em função da má distribuição dos mesmos sobre o solo, principalmente em áreas extensas (FREDDI *et al.*, 2017).

A utilização do calcário tornou-se prática corriqueira nos sistemas de produção, no entanto possui suas limitações na camada de ação do solo, sendo restrita às zonas de aplicação (RHEINHEIMER *et al.*, 2018). Devido as características do carbonato, ocorre a formação de uma faixa com melhores condições químicas, enquanto que as camadas subsuperficiais não são influenciadas por estas melhorias, apresentando maiores teores de

alumínio e menor concentração de bases trocáveis, o que provoca limitação no crescimento radicular e absorção de água e nutrientes (BARBIERI *et al.*, 2015).

Tendo em vista as limitações do calcário, e com o objetivo de reduzir as diferenças nas melhorias dos atributos químicos ao longo do perfil do solo em SSD, tem-se buscado meios que possam agir como complemento para as melhorias proporcionadas pela calagem. Possuindo maior solubilidade que o CaCO_3 , o gesso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) é fonte de nutrientes, responsável pelo transporte de bases para as camadas subsuperficiais, reduz a atividade do alumínio e contribui para o crescimento radicular ao longo do perfil (ZAMBROSI; ALLEONI; CAIRES, 2007; SOMAVILLA *et al.*, 2015;).

Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi avaliar os efeitos de doses de calcário associadas ou não à aplicação de gesso agrícola sobre os atributos químicos de um Latossolo Amarelo distrófico, textura média da região nordeste do Pará em sistema de semeadura direta.

2.2 Material e Métodos

2.2.1 Caracterização da área experimental

O experimento foi conduzido nos anos de 2010 a 2012 em um Latossolo Amarelo distrófico, textura média (GAMA *et al.*, 2000), no Campo Experimental da Embrapa, localizado no município de Terra Alta, no nordeste do Pará, sob as coordenadas geográficas de latitude $01^{\circ}02'28''$ S e longitude $47^{\circ}54'27''$ W, com altitude de 35 metros.

Segundo a classificação de Köppen, o clima predominante na região é do tipo Am, com temperatura média de $26,6^{\circ}\text{C}$ e índice pluviométrico médio anual de 2.538 mm, com chuvas concentradas no período de janeiro a abril (CRAVO *et al.*, 2012).

2.2.2 Delineamento experimental e tratamentos

O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados em parcelas subdivididas, com três repetições. Os tratamentos foram dispostos em cinco níveis de calcário (0, 1, 2, 3, 4 t ha^{-1}) e três níveis de gesso (0, 500, 1000 kg ha^{-1}), as doses dos corretivos foram calculadas levando em consideração critérios de saturação por bases. Utilizou-se calcário dolomítico comercial com 32% de CaO, 15% de MgO e PRNT de 92% e o gesso agrícola com composição de 25% de CaO e 14% S. A caracterização química do solo antes da implementação do experimento encontra-se no Quadro 1.

Quadro 1: Características químicas e físicas do Latossolo Amarelo, textura média, da área experimental antes da instalação do experimento.

Prof.	MO	C	pH	P	K	Ca	Mg	Al	H+Al	CTC
(cm)	g kg ⁻¹	g kg ⁻¹	(H ₂ O)	--mg dm ³ ---				-----cmol dm ³ -----		
0-20	13,68	7,95	4,3	2	63	1	0,5	0,6	2,8	4,5
20-40	8,73	5,07	4,6	2	19	0,7	0,15	0,6	2,4	3,4

Prof.	Areia Grossa	Areia Fina	Silte	Argila
(cm)	g kg ⁻¹			
0-20	373	376	101	150
20-40	254	464	102	180

2.2.3 Condução do experimento

Antes da instalação do experimento a área utilizada era uma pastagem degradada. O preparo da área realizado para a implantação do experimento constou da retirada da vegetação herbácea natural por meio de roçagem, seguido por uma aração e duas gradagens, em sentido transversal. A aplicação do calcário dolomítico foi realizada a lanço em toda a extensão das parcelas, aplicando-se metade da dose antes da aração e a outra metade foi incorporada com a segunda gradagem, juntamente com a totalidade da dose de gesso.

Utilizou-se a cultura do milho como planta teste durante os quatro ciclos agrícolas, cuja semeadura foi realizada em linhas de 8 metros de comprimento, espaçadas de 70 cm nas entrelinhas, com cinco plantas por metro linear. O preparo do solo com aração e gradagem somente foi realizado antes do primeiro cultivo de milho (2010), sendo realizado a partir de então semeadura direta nos cultivos subsequentes.

Durante todos os ciclos agrícolas efetuou-se a aplicação de adubação básica com NPK seguindo o manual de adubação para a cultura, em todas as parcelas experimentais, nas quantidades equivalentes de 120 kg ha⁻¹ de N, 90 kg ha⁻¹ de P₂O₅, 90 kg ha⁻¹ de K₂O

e, utilizando-se superfosfato triplo, cloreto de potássio e ureia, respectivamente como fonte de nutrientes, levando em consideração a recomendação do manual de adubação para a cultura. A quantidade total do P foi aplicada em sulco na ocasião do plantio, enquanto que o N e K foram aplicados em duas parcelas iguais, sendo a primeira em sulco de plantio e a segunda foi aplicada a lanço, em cobertura, por ocasião da fase V6 da cultura do milho. Efetuou-se, ainda, aplicação de micronutrientes em todas as parcelas, utilizando-se como fonte FTE BR-12, em quantidade equivalente a 40 kg ha⁻¹.

Para a formação da palhada, efetuou-se a subsemeadura de *Urochloa ruziziensis* por ocasião da cobertura da adubação nitrogenada. A dessecagem da palhada e dos resíduos culturais foi realizada com aplicação de 4 litros ha⁻¹ de glifosato e 1,8 litros ha⁻¹ de herbicida seletivo (DMA), realizada um dia após o plantio do milho.

Para a colheita do milho utilizou como área útil as quatro linhas centrais das parcelas, deixando 80 cm de bordadura em cada. Após a colheita, as espigas foram separadas dos grãos, para a determinação da produtividade em kg ha⁻¹, sendo adotada a umidade em 13% (EMBRAPA, 2000).

2.2.4 Amostragem e análises de solo

Em todos os anos agrícolas, o procedimento de amostragem foi realizado por meio da retirada de amostras nas faixas de adubação e nas entrelinhas, dentro de cada parcela, com deslocamento em zig-zag. A amostragem de solo foi realizada por meio da coleta de 20 amostras simples para compor a amostra composta, em profundidades iguais nos diferentes ciclos agrícolas. A amostragem do solo foi realizada nas profundidades de 0-20 cm e 20-40 cm trinta dias depois da aplicação dos tratamentos. Após as coletas, as amostras foram colocadas para secagem ao ar, para posterior determinação dos seguintes atributos químicos: teores de fósforo, potássio, cálcio, magnésio, alumínio, determinação do pH (H₂O) e calculado a CTC e V%, conforme a metodologia preconizada pela EMBRAPA (2013).

2.2.5 Análise Estatística

Os resultados das variáveis de resposta foram submetidos à análise de variância e, quando houve efeito significativo dos tratamentos realizou-se o teste de comparação de médias para as doses de gesso utilizando-se o teste Scott Knott ($p < 0,05$) e para as doses de calcário utilizou-se análise de regressão.

2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

2.3.1 PROPRIEDADES QUÍMICAS DO SOLO

2.3.1.1 pH

No primeiro ano (2010) houve efeito significativo da interação de doses de calcário *versus* profundidade (Figura 1) em relação ao pH do solo. Verificou-se que a influência da aplicação de calcário foi mais pronunciada na camada de 0-20 cm, quando comparada com a camada de 20-40 cm, que não apresentou resposta significativa. Pode-se inferir que o tempo decorrido para a ação sobre esse atributo químico não foi suficiente em virtude da baixa mobilidade do produto ou talvez a utilização de doses maiores das que foram utilizadas no experimento possa ser capaz de proporcionar aumento do pH em profundidade. Isso demonstra que o calcário promoveu melhorias no pH do solo somente na camada superficial, o que pode ser devido à dissociação do carbonato de cálcio, com liberação de hidroxilas e precipitação de Fe e Al na forma de hidróxido de Fe e Al (DA COSTA; CRUSCIOL, 2015). O aumento do pH após a utilização dos corretivos é em função da elevação na concentração das hidroxilas e a redução da concentração de H^+ na solução do solo (OLIVEIRA; PAVAN, 1996). A dissociação do calcário em ambientes ácidos é responsável por proporcionar a liberação de ânions (OH^- e HCO_3^-), os quais reagem com cátions de caráter ácido da solução do solo (H^+ , Al^{3+} , Fe^{2+} e Mn^{2+}) (RHEINHEIMER *et al.*, 2000), ocorrendo a partir dessa correção, a movimentação de cátions básicos ao longo do perfil, atingindo camadas profundas.

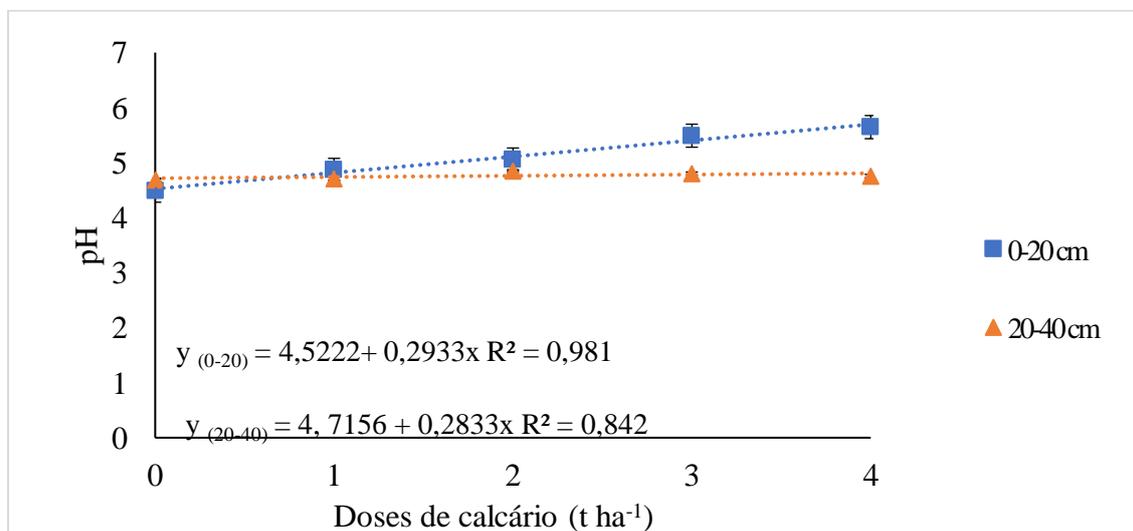


Figura 1: Valores de pH do solo em Latossolo Amarelo, textura média, de Terra Alta (PA). no primeiro ciclo agrícola (2010), em função da aplicação das doses de calcário.

No segundo ano avaliado (2011) o pH do solo foi influenciado pelo efeito da interação entre doses de calcário *versus* doses de gesso (Figura 2), ocorrendo aumento do pH quando comparado com o ano anterior devido maior tempo de ação sobre essa propriedade do solo, favorecendo o predomínio de cátions básicos; porém o acréscimo do gesso sob a melhoria no pH se manteve constante, pois ao ser avaliado a ação do gesso sobre o pH do solo em conjunto com o calcário, verificou-se que não houve influência na propriedade analisada nesse período, ou seja, a partir desses resultados obtidos é possível confirmar que o gesso, por ser um sal neutro, não é capaz de aumentar o pH do solo, pois não neutraliza o alumínio trocável encontrado no solo.

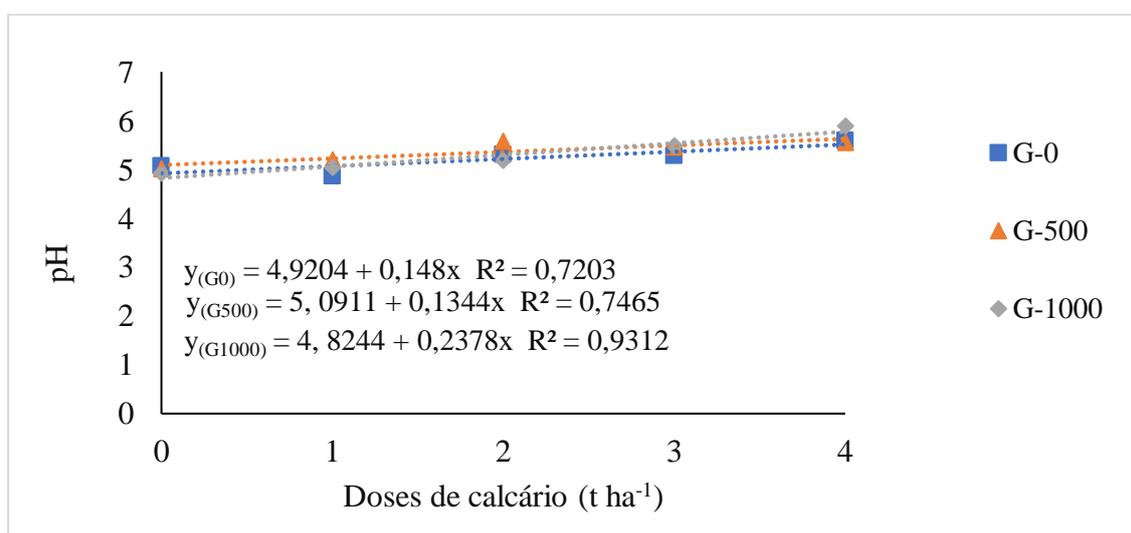


Figura 2: Valores de pH do solo em Latossolo Amarelo, textura média, de Terra Alta (PA). no segundo ciclo agrícola (2011), em função da aplicação das doses de calcário e gesso na profundidade de 0-40 cm.

No terceiro ano (2012), somente as doses de calcário influenciaram significativamente o pH do solo (Figura 3), observando-se que houve aumento linear em função das quantidades aplicadas de calcário. A partir dos resultados encontrados é evidenciado que o gesso não possui influência na correção da acidez do solo, o que tem sido constatado em diversos trabalhos na literatura (FOLONI *et al.*, 2008; RAMOS *et al.*, 2013; RAMPIM *et al.*, 2011; ROCHA *et al.*, 2008).

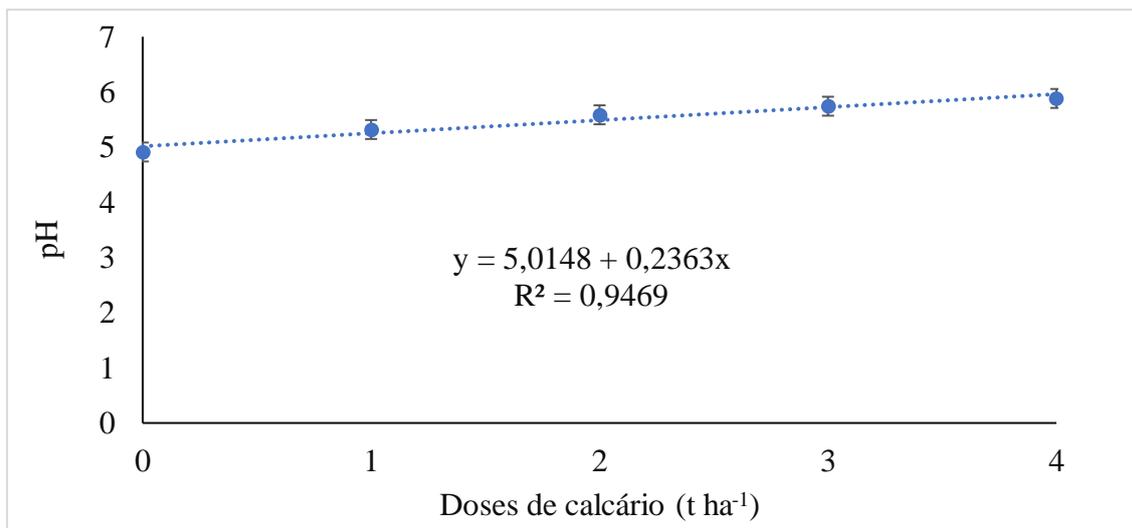


Figura 3: Valores de pH do solo em Latossolo Amarelo, textura média, de Terra Alta (PA), no terceiro ciclo agrícola (2012), em função da aplicação das doses de calcário e gesso na profundidade de 0-40 cm.

Resultados semelhantes também foram encontrados por BORTOLANZA; KLEIN (2016); CRUSCIOL *et al.* (2016), os quais constataram a melhoria do pH na superfície após a aplicação do carbonato de cálcio, sendo relacionada a eficiência da ação na camada superior, devido à sua baixa taxa de mobilidade no solo. No entanto, essa movimentação pode ser favorecida em virtude da boa estruturação do solo, da pluviosidade que favorece a movimentação ao longo do perfil, além disso, bioporos formados pelo sistema radicular e organismos também podem favorecer essa movimentação em sistema plantio direto, onde se constataram a melhoria do pH após seis meses de aplicação (TIRITAN *et al.*, 2016). ROSSATO *et al.* (2017) constataram melhorias da acidez potencial nas camadas 20-40 cm após a aplicação do calcário, sendo atribuída essa melhora mais profunda em virtude das maiores doses de calcário dolomítico, o qual permite que haja aumento das cargas negativas no perfil do solo fazendo com que ocorra o movimento dos cátions para camadas inferiores.

2.3.1.2 Alumínio trocável (Al³⁺)

Os teores de alumínio trocável no ano de 2010 foram influenciados significativamente apenas pelas doses de calcário, havendo redução dos teores do elemento, com o aumento das doses aplicadas (Figura 4), demonstrando efeito importante nas melhorias das condições químicas do solo. Outro fator que pode ter contribuído para a melhoria no primeiro ciclo, está relacionado com o revolvimento do solo ocorrido no preparo da área antes da implementação do experimento, favorecendo a homogeneização

do calcário e contribuindo para redução do alumínio trocável na camada 0-20 cm. A ação do calcário sob as melhorias relacionadas ao pH do solo já é conhecida, decorrentes da reação do carbonato de cálcio com a água, contribuindo para a redução da atividade do alumínio trocável e elevação dos teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} , contribuindo para o desenvolvimento do sistema radicular, conseqüentemente melhorando absorção dos nutrientes fornecidos, sendo mais efetiva sua ação nas camadas mais superficiais em virtude da baixa mobilidade do carbonato de cálcio no solo (ALBUQUERQUE *et al.*, 2003; CRAVO *et al.*, 2012; ERNANI *et al.*, 2001).

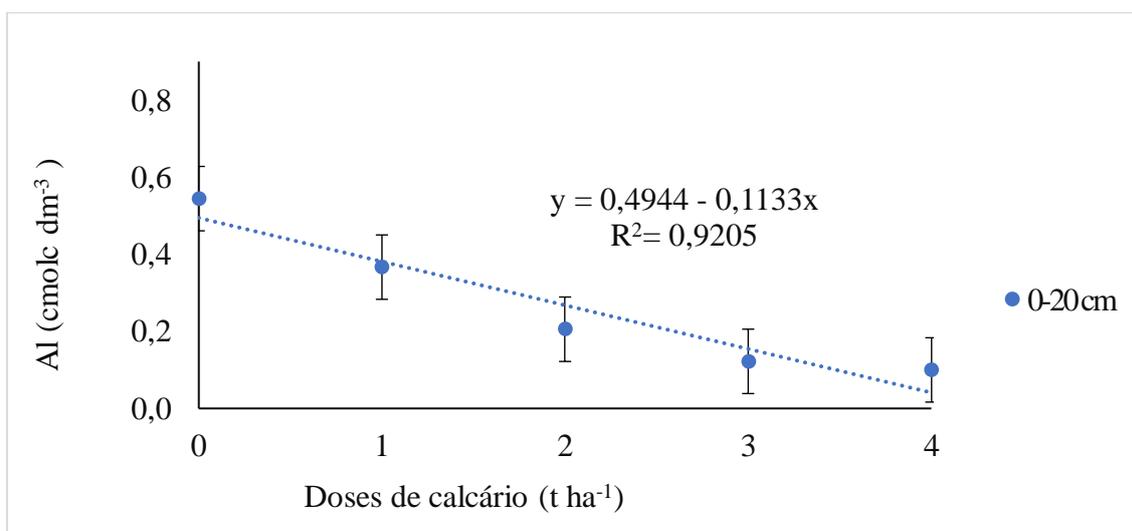


Figura 4: Teor de alumínio trocável em Latossolo Amarelo, textura média, de Terra Alta (PA), no primeiro ciclo agrícola (2010), em função da aplicação das doses de calcário na profundidade de 0-40 cm.

No segundo ano de avaliação (2011) houve interação gesso *versus* calcário (Figura 5), a qual é possível perceber no eixo “y” que as doses crescentes de calcário promoveram redução no teor do alumínio, contudo a avaliação do gesso no eixo “x” nas três doses avaliadas não apresentaram influência sobre esse atributo. No ano de 2011 também apresentou interação do calcário *versus* profundidade (Figura 6), com declínio no teor de Al^{3+} trocável em função do aumento das doses de calcário, tendo efeito maior na redução sobre as camadas superficiais, devido sua baixa mobilidade no solo. No terceiro ciclo agrícola houve interação do calcário com a profundidade apresentando o mesmo comportamento do ano anterior (Figura 7).

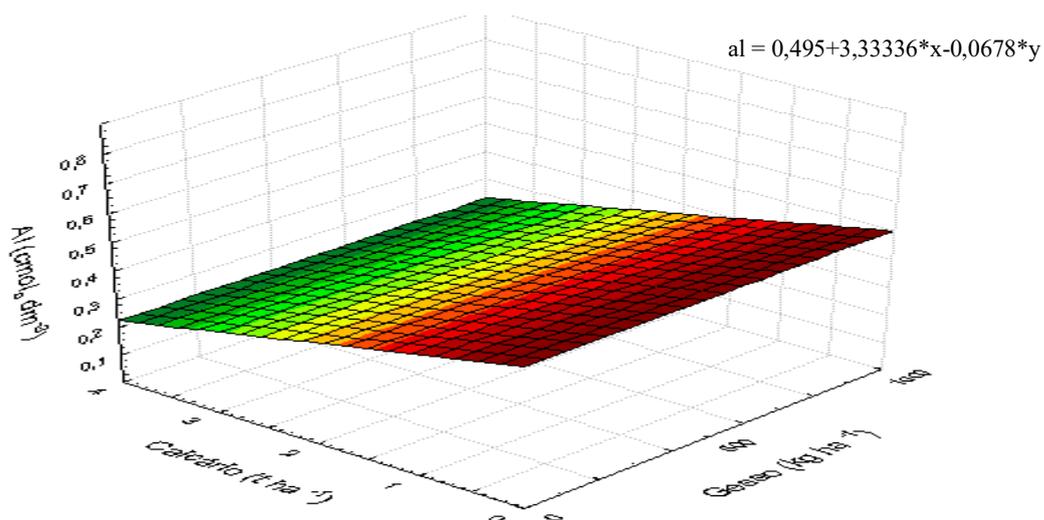


Figura 5: Teor de alumínio trocável em Latossolo Amarelo, textura média, de Terra Alta (PA), no segundo ciclo agrícola (2011), em função da aplicação das doses de calcário e gesso na profundidade de 0-40 cm.

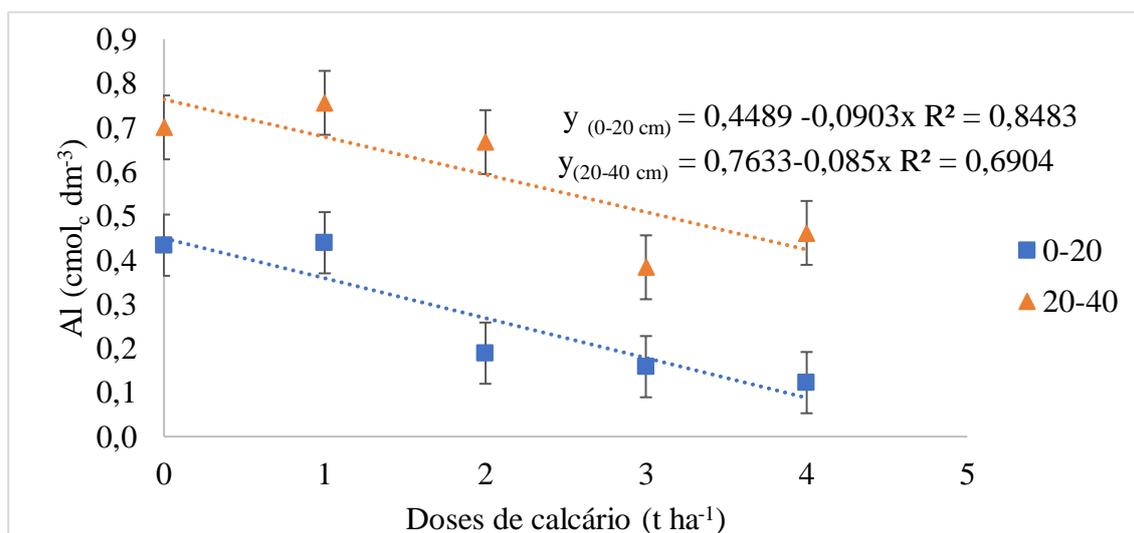


Figura 6: Teor de alumínio trocável em Latossolo Amarelo, textura média, de Terra Alta (PA), no segundo ciclo agrícola (2011), em função da aplicação das doses de calcário.

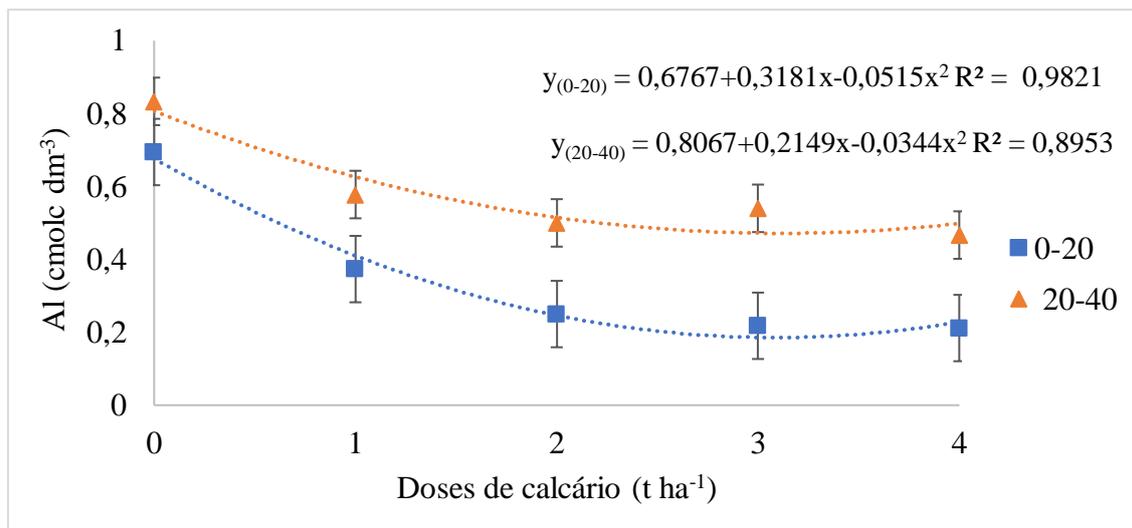


Figura 7: Teor de alumínio trocável em Latossolo Amarelo, textura média, de Terra Alta (PA), no terceiro ciclo agrícola (2012), em função da aplicação das doses de calcário.

A redução nos teores de Al trocável e o aumento das bases em subsuperfície após a calagem no decorrer do experimento, pode estar diretamente relacionado, também, com os mecanismos de lixiviação das bases através da formação de complexos orgânicos hidrossolúveis com (NO_3^- , HCO_3^- , OH^- , Cl^- , SO_4^{2-}) decorrentes da decomposição de resíduos vegetais (CAIRES *et al.*, 2006; CRUSCIOL *et al.*, 2011; FIDALSKI, TORMENA. 2005; MIYAZAWA, PAVAN, FRANCHINI. 2002), promovendo a movimentação vertical no perfil. As concentrações desses compostos inorgânicos são maiores em função do sistema de produção, nesse caso semeadura direta, sendo favorecido a partir do maior teor de matéria orgânica na superfície do solo, a partir da manutenção da palhada sobre o mesmo. A alteração da carga 2+ a partir da formação dos complexos facilita a movimentação no perfil em função da carga neutra formada e ao alcançar camadas mais profundas esses cátions básicos são deslocados pelo alumínio trocável encontrado nessa camada em função do mesmo formar complexos mais estáveis quando comparados com Ca^{2+} e Mg^{2+} , reduzindo desta forma a concentração de Al^{3+} (OLIVEIRA *et al.*, 2002).

Resultados semelhantes dos que foram encontrados nesse trabalho, foram apresentados por SHAMSHUDDIN; FAUZIAH (2010), exibindo redução da toxicidade do alumínio após a aplicação do calcário, NASCIMENTO *et al.* (2017); MICHALOVICZ *et al.* (2014) ao avaliar a aplicação do gesso no solo verificaram mudanças na acidez do solo, diferentemente dos dados obtidos nesse trabalho, RAMPIM *et al.* (2011); ERNANI *et al.* (2001); VICENSI *et al.* (2016) constataram que o fornecimento de gesso com e sem

a sua incorporação resultou em redução do pH em virtude da hidrólise do alumínio, a qual deslocou o mesmo das cargas negativas devido o fornecimento de cálcio para o solo.

2.3.1.3 Potássio trocável (K^+)

No primeiro ano de cultivo os teores de potássio no solo foram influenciados pela profundidade (Figura 8), apresentando maiores valores na camada de 0-20 cm, esses resultados são explicados pela maior fertilidade na superfície do solo, decorrente das adubações e devido ao curto período de ação das doses de $CaSO_4$, o qual não permitiu que houvesse maior intensidade na formação de pares iônicos com o elemento e o seu carregamento para camadas mais profundas, o que também foi verificado por RAMOS *et al.* (2013), o qual encontraram maiores teor de K^+ nas primeiras camadas do perfil, apresentando acentuada redução a partir de 0,8 cm de profundidade.

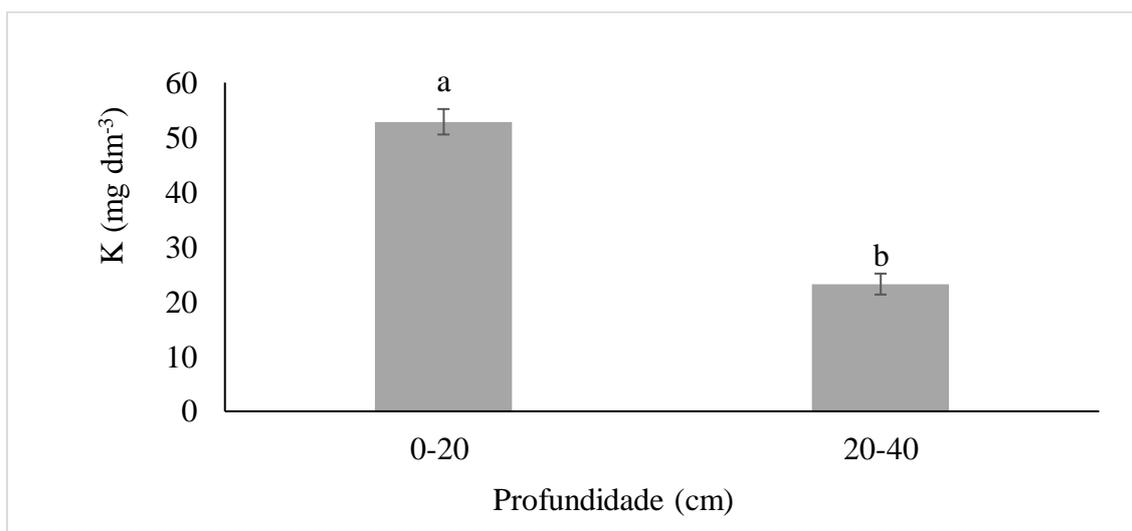


Figura 8: Teor de potássio em Latossolo Amarelo, textura média, de Terra Alta (PA) no primeiro ciclo agrícola (2010), em função das profundidades 0-20 cm e 20-40 cm.

No segundo ano de avaliação houve interação entre as doses de calcário e gesso nas duas profundidades coletadas (Figura 9, 10). Os teores de potássio no solo foram dispersos e não apresentaram comportamento normal em 2011 nas doses avaliadas, indicando, possivelmente, que o número de amostras coletadas não foi suficiente para esse nutriente, apesar da coleta ter sido feita de forma que amenizasse efeitos sobre baixa representatividade do local. Esses resultados podem ser esperados em função do manejo utilizado, pois no sistema de semeadura direta não ocorre o revolvimento do solo

diferentemente do sistema convencional, o qual esse efeito é minimizado, ou seja, os nutrientes aplicados a partir da adubação tendem, quando não há revolvimento, a ser concentrados nas camadas superficiais do solo, apresentando maior variabilidade horizontal dos nutrientes, sendo necessário realizar um número maior de subamostras para tentar minimizar a alta variabilidade (SILVA *et al.*, 2003; SCHLINDWEIN; ANGHINONI, 2000).

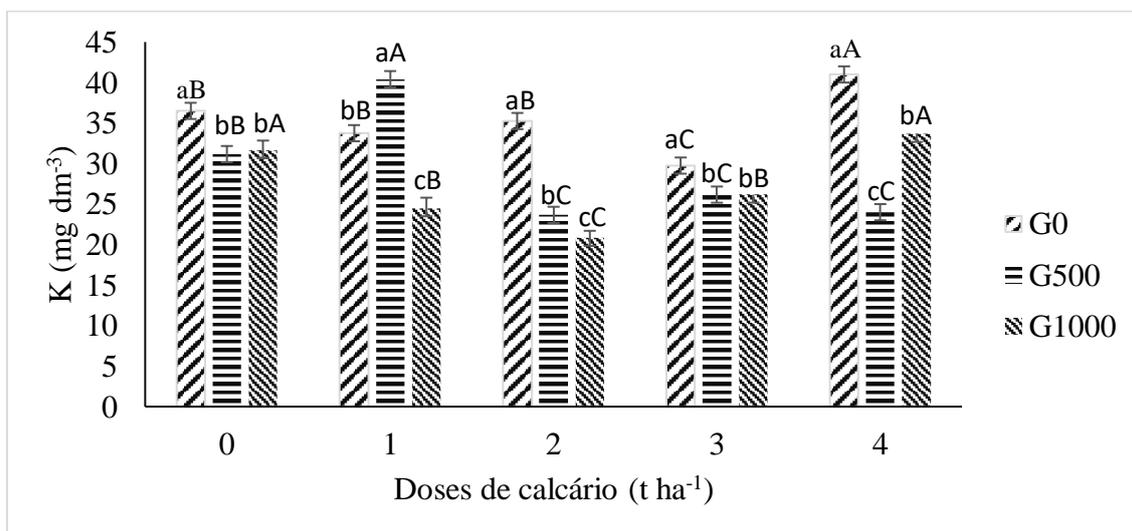


Figura 9: Teor de potássio em Latossolo Amarelo, textura média, de Terra Alta (PA), no segundo ciclo agrícola (2011), em função da aplicação de doses de calcário e gesso na profundidade 0-20 cm. Letras minúsculas comparam as doses de gesso dentro da mesma dose de calcário e letras maiúsculas comparam doses de gesso entre as diferentes doses de calcário, pelo teste Scott Knott ($p < 0,05$).

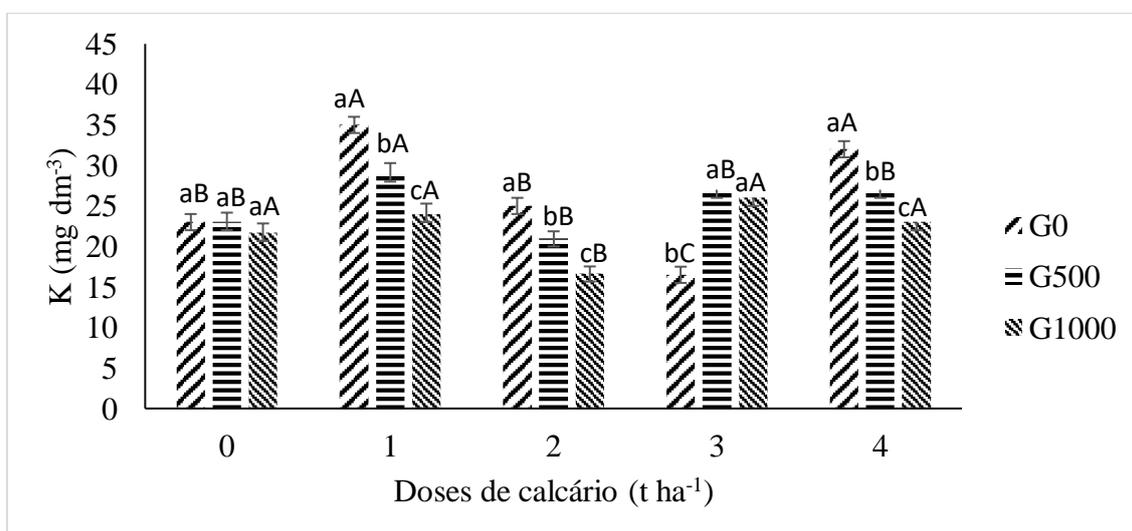


Figura 10: Teor de potássio em Latossolo Amarelo, textura média, de Terra Alta (PA), no segundo ciclo agrícola (2011), em função da aplicação de doses de calcário e gesso na profundidade 0-20 cm. Letras minúsculas comparam as doses de gesso dentro da mesma dose de calcário e letras maiúsculas comparam doses de gesso entre as diferentes doses de calcário, pelo teste Scott Knott ($p < 0,05$).

No terceiro ciclo agrícola avaliado (2012) houve significância das doses de gesso e calcário isoladamente nos teores de K (Figura 11, 12), com o maior teor do nutriente

encontrado nas maiores doses dos corretivos. O sistema plantio direto instalado favoreceu a baixa taxa de lixiviação em função da produção de matéria orgânica, a qual por meio da formação de esfera de complexo interno proporcionou proteção nos macroagregados e decomposição do nutriente de forma eficiente (SANTOS *et al.*, 2017). Resultados semelhantes foram encontrados em um sistema de semeadura direta após a aplicação de doses de gesso, o qual apresentou maiores teores de K^+ nas camadas de 0-20 cm, fato explicado devido a adubação recebida durante o experimento e baixa densidade de carga, a qual favorece esse movimento no perfil do solo mesmo em condições que possuam elevada CTC (BASSO *et al.*, 2015; ANDRADE *et al.*, 2012; SERAFIM *et al.*, 2012).

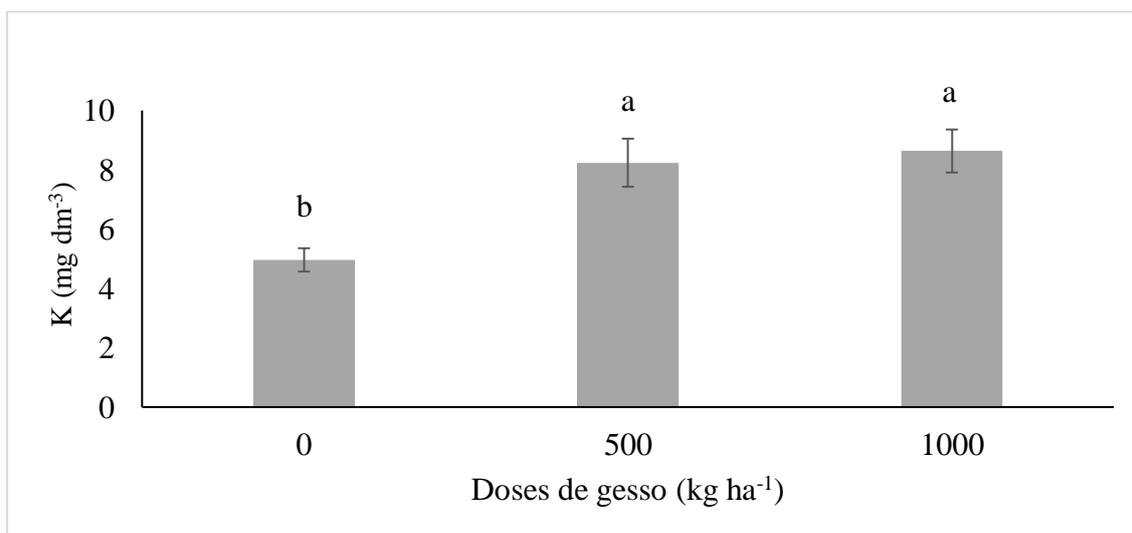


Figura 11: Teor de potássio em Latossolo Amarelo, textura média, de Terra Alta (PA). no terceiro ciclo agrícola (2012), em função da aplicação de doses de gesso.

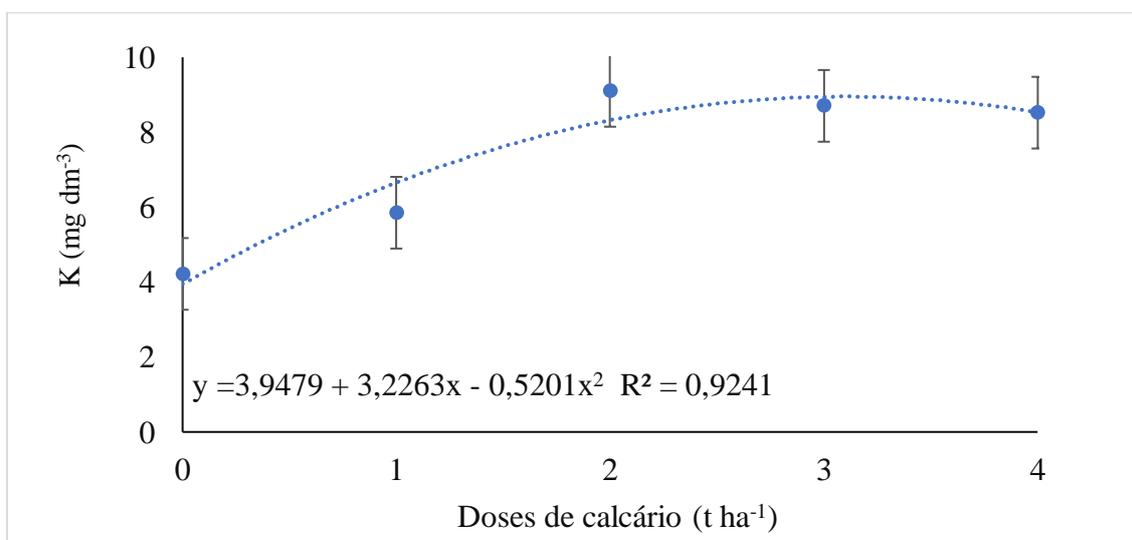


Figura 12: Teor de potássio em Latossolo Amarelo, textura média, de Terra Alta (PA). no terceiro ciclo agrícola (2012), em função da aplicação de doses de calcário.

2.3.1.4 Cálculo trocável (Ca^{2+})

Os teores de cálcio no solo em 2010 foram influenciados pela aplicação de calcário e gesso nas duas profundidades avaliadas. Na camada de 0-20 cm (Figura 13), tanto as doses de calcário como as de gesso proporcionaram aumento no teor de cálcio, no entanto o aumento proporcionado pelo último foi menos expressivo. Ao ser avaliado o ponto de máxima, foi possível verificar que a utilização de $3,64 \text{ t ha}^{-1}$ combinado com 500 kg ha^{-1} de gesso fora responsável pelo maior incremento no teor de cálcio no solo na camada referente a 0-20 cm. Na profundidade de 20-40 cm (Figura 14) as doses de calcário em conjunto com as doses de gesso foram responsáveis pela movimentação de bases verticalmente ao longo do perfil, fazendo com que os teores desse nutriente na camada em avaliação apresentassem teores maiores. Avaliando o ponto de máxima nessa camada foi possível verificar que a doses de $2,19 \text{ t ha}^{-1}$ de calcário combinado com 500 kg ha^{-1} teve maior incremento no teor desse nutriente, apresentando redução a partir desse ponto, a partir desses resultados, é possível inferir que o fornecimento de cálcio através dos condicionadores aplicados pode ter favorecido a movimentação desse cátion para camadas mais profundas das que foram avaliadas, demonstrando desta forma a sua eficiência na promoção de melhorias ao longo do perfil.

$$y = 1,0097 + 0,0003 * x + 0,2457 * y - 9,3E-8 * x * x + 3,0083E-5 * x * y - 0,0413 * y * y$$

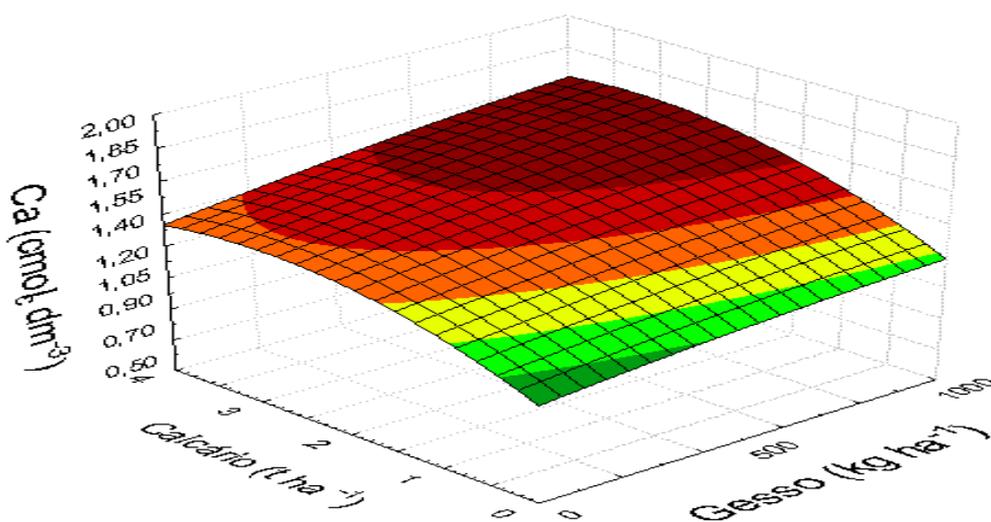


Figura 13: Teor de cálcio em Latossolo Amarelo, textura média, de Terra Alta (PA), no primeiro ciclo agrícola (2010), em função da aplicação de doses de calcário e gesso na profundidade 0-20 cm.

$$y = 0,4824 + 0,0005 * x + 0,4202 * y + 5,3333E-8 * x * x - 0,0001 * x * y - 0,0683 * y * y$$

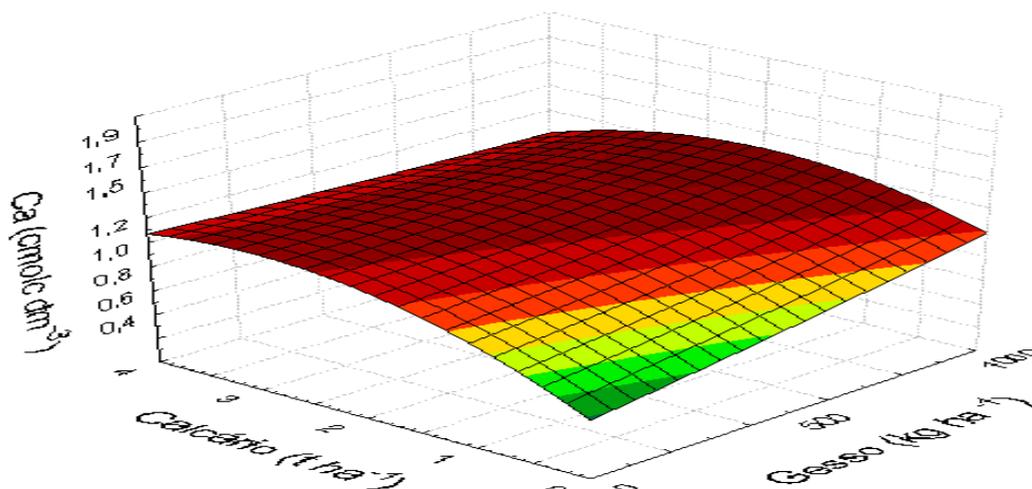


Figura 14: Teor de cálcio em Latossolo Amarelo, textura média, de Terra Alta (PA), no primeiro ciclo agrícola (2010), em função da aplicação de doses de calcário e gesso na profundidade 20-40 cm.

No segundo ano avaliado (2011) houve efeito significativo da interação calcário *versus* gesso (Figura 15), apresentando crescimento linear positivo no teor de cálcio nas cinco doses de calcário, tendo destaque maior, em função de ter proporcionado maior teor de cálcio, a combinação com 1000 kg ha⁻¹ de gesso. Também apresentou interação calcário *versus* profundidade (Figura 16), a qual apresentou teores de cálcio na camada 0-20 cm maiores quando comparados com a camada de 20-40 cm, permitindo a partir desses resultados supor que o cálcio teve maior concentração na camada superficial independente da dose de calcário aplicada, devido à baixa taxa de movimentação vertical no perfil do solo. Alguns trabalhos afirmam que a elevação no teor de cálcio trocável no solo sob efeito do calcário e gesso ocorre em virtude dois condicionadores serem fontes de cálcio, sendo possível observar o incremento nos teores de cálcio no perfil do solo a partir dos tratamentos aplicados (CAIRES; JORIS; CHURKA, 2011; SORATTO; CRUSCIOL, 2008).

No entanto, os teores de cálcio encontrados na camada de 20-40 cm apresentaram valores em todas as doses aplicadas acima de 1 cmol_c dm⁻³, demonstrando desta forma, que a aplicação do gesso agrícola, em conjunto, está sendo responsável por promover movimentação dessas bases para camadas mais profundas, proporcionando assim melhorias nessa faixa do solo. Resultados semelhantes foram encontrados por ZANDONÁ *et al.* (2015); PAULETTI *et al.* (2014); NORA *et al.* (2017) em experimentos

sob o sistema de semeadura direta, em que esses autores observaram maior teor cálcio na superfície depois da aplicação de calcário e gesso agrícola, sendo relacionado este fator em virtude da baixa mobilidade desse nutriente no solo. Entretanto sua mobilidade foi favorecida a partir da aplicação de doses de gesso para camadas abaixo de 20 cm de profundidade.

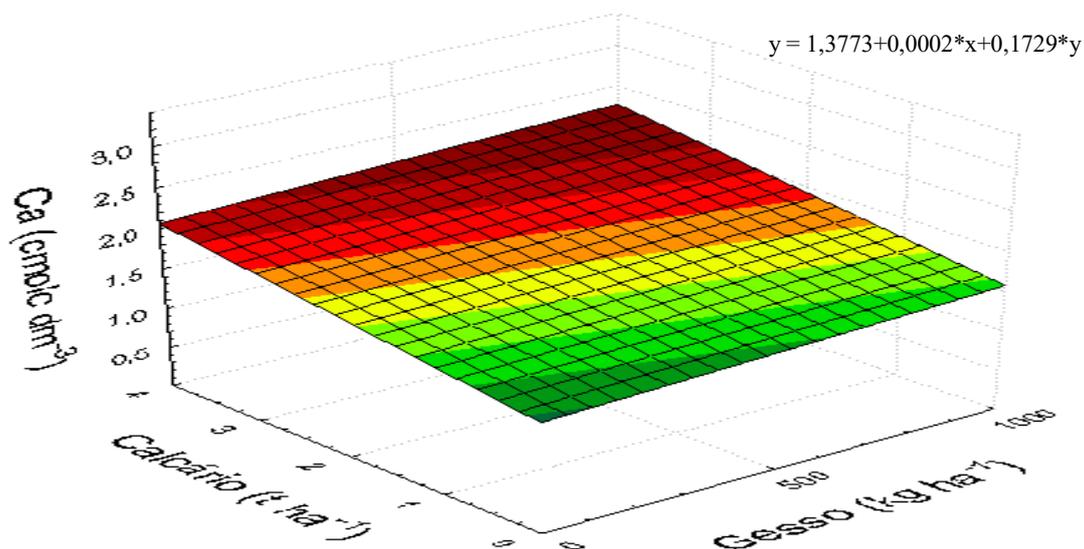


Figura 15: Teor de cálcio em Latossolo Amarelo, textura média, de Terra Alta (PA), no segundo ciclo agrícola (2011), em função da aplicação de doses de calcário e gesso nas profundidades de 0-40 cm.

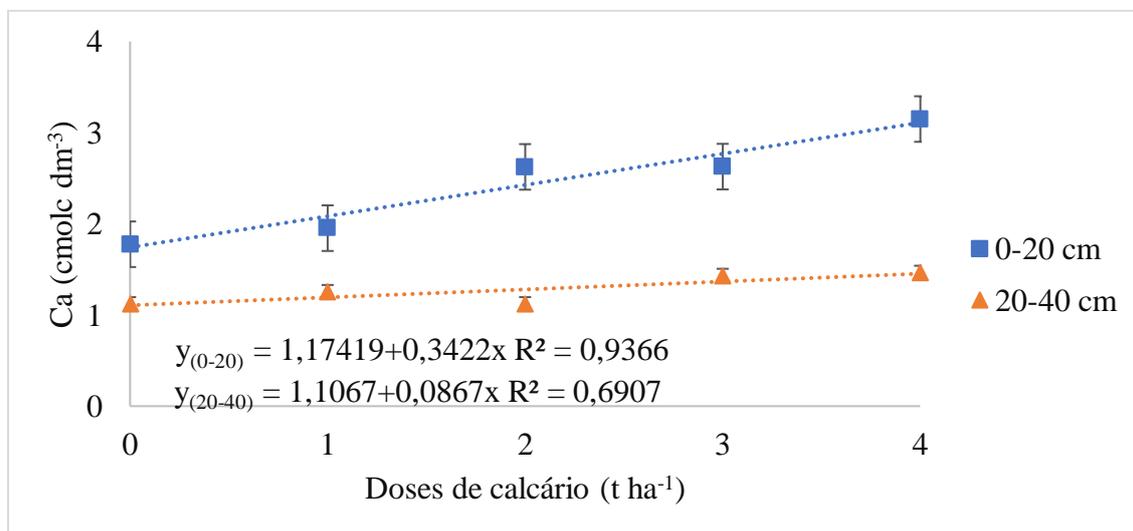


Figura 16: Teor de cálcio em Latossolo Amarelo, textura média, de Terra Alta (PA), no segundo ciclo agrícola (2011), em função da aplicação de doses de calcário nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm.

No terceiro ano de experimento (2012) houve interação entre as doses de calcário *versus* profundidade e gesso *versus* calcário. O teor de cálcio na camada de 0-20 cm a partir das doses de calcário apresentou crescimento linear, com maior teor nas doses mais

elevadas (Figura 17), o maior efeito das doses, as quais proporcionaram aumentos expressivos nos teores de cálcio no solo, foi verificado na camada 0-20 cm. De acordo com CAIRES et al. (2000), as melhorias proporcionadas a partir da aplicação do calcário em superfície em sistema de semeadura direta pode apresentar algumas variações em virtude das doses aplicadas, características químicas do solo e manejo utilizado. Desta forma, a ação do calcário sobre as camadas variou em função do tempo de reação, podendo ser expressa essas possíveis melhorias sobre os atributos químicos com um maior período de observação.

A interação de gesso calcário na camada de 20-40 cm (Figura 18) apresentou efeito linear positivo a partir das doses de calcário e gesso, apresentando maior incremento no teor do nutriente com a aplicação de 3,44 t ha⁻¹ de calcário combinado com 500 kg ha⁻¹ de gesso, indicando provável movimentação do cálcio em profundidade devido a adição de gesso agrícola. A ação do gesso, em todas as profundidades avaliadas nos três anos agrícolas, demonstra a importância do mesmo para contribuir com a melhoria das condições químicas das camadas subsuperficiais, colaborando, em conjunto com a adição de calcário, para o transporte de cátions básicos ao longo do perfil do solo.

VARGAS; MARQUES (2017), ao avaliarem o efeito do calcário e gesso no perfil do solo, verificaram que a aplicação de gesso forneceu maior teor de cálcio quando comparado com o calcário com a mesma dose, esses resultados foram explicados pelos autores em função da solubilidade diferenciada dos materiais. De acordo com NAVA *et al.* (2012), esse comportamento pode ser explicado em função da molécula de SO₄⁻² neutralizar a carga 2+ do cálcio, permitindo sua movimentação vertical ao longo do perfil sem que haja fixação nas cargas negativas dos colóides e o mesmo possa se movimentar para camadas acima de 20 cm.

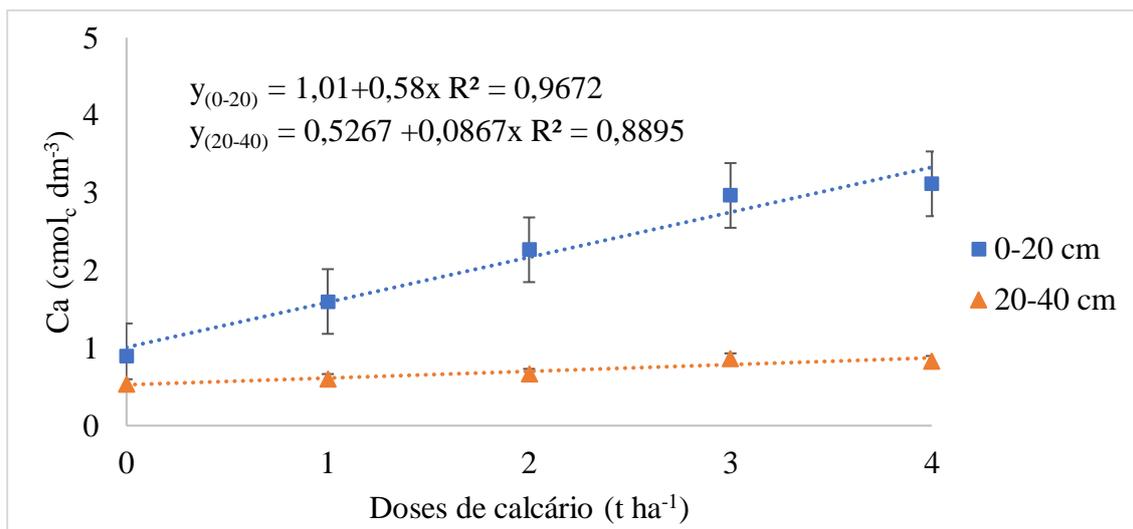


Figura 17: Teor de cálcio em Latossolo Amarelo, textura média, de Terra Alta (PA). no terceiro ciclo agrícola (2012), em função da aplicação de doses de calcário nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm.

$$ca = 0,7371 + 0,001 * x + 0,8126 * y - 1,0115E-6 * x * x + 8,0331E-5 * x * y - 0,0998 * y * y$$

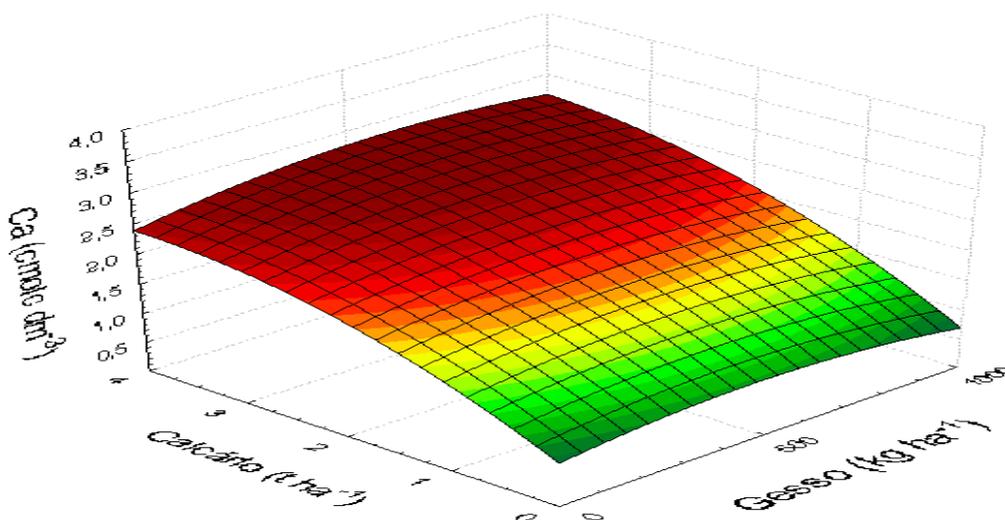


Figura 18: Teor de cálcio em Latossolo Amarelo, textura média, de Terra Alta (PA). no terceiro ciclo agrícola (2012), em função da aplicação de doses de calcário e gesso nas profundidades de 0-40 cm.

2.3.1.5 Magnésio Trocável (Mg²⁺)

O teor de magnésio no primeiro ciclo agrícola apresentou interação entre as doses de gesso e calcário nas duas profundidades coletadas. A área superficial do solo (0-20 cm) apresentou comportamento linear crescente de acordo com as doses de calcário e gesso aplicadas (Figura 19), podendo notar que os corretivos foram responsáveis por proporcionar melhorias no pH e conseqüentemente contribuindo para o predomínio de

cátions básicos nessa faixa do solo. Ao avaliar a interação dos corretivos nota-se que ocorreu aumento linear no teor de magnésio na camada avaliada, apresentando maior contribuição no fornecimento do nutriente no solo as doses de quatro toneladas por hectares de calcário e mil quilos de gesso. Na camada de 20-40 cm, do mesmo ano, (Figura 20) também houve interação entre as doses de calcário e gesso, as quais foram responsáveis por aumento no teor do nutriente nessa camada. A combinação que proporcionou maior incremento no teor desses nutrientes foi encontrado a partir da aplicação de $3,63 \text{ t ha}^{-1}$ de calcário combinado com 500 kg ha^{-1} de gesso, esses resultados demonstram a movimentação de bases verticalmente ao longo do perfil, ficando evidente que as melhorias dos atributos químicos do solo e o fornecimento de cátions básicos para o mesmo estão promovendo melhorias nas camadas subsuperficiais, as quais, em condições normais, apresentariam condições ácidas que comprometeria o desenvolvimento radicular e produtivo da cultura do milho.

O aumento de bases abaixo de 20 cm do solo está diretamente ligado a funções relacionadas ao gesso. Esse condicionante devido sua alta solubilidade, e a partir da liberação de íons sulfato na solução do solo são responsáveis pelo transporte de bases no perfil, promovendo melhorias nessas camadas. Resultados semelhantes foram expostos por RODRIGHERO *et al.*, (2015); MOREIRA; FAGERIA (2010); TOFFOLLI *et al.*, (2014) avaliando a aplicação superficial sob um sistema sem revolvimento encontraram melhoria dos níveis de magnésio, no perfil do solo, porém essas melhorias ficaram concentradas principalmente na camada até 10 cm.

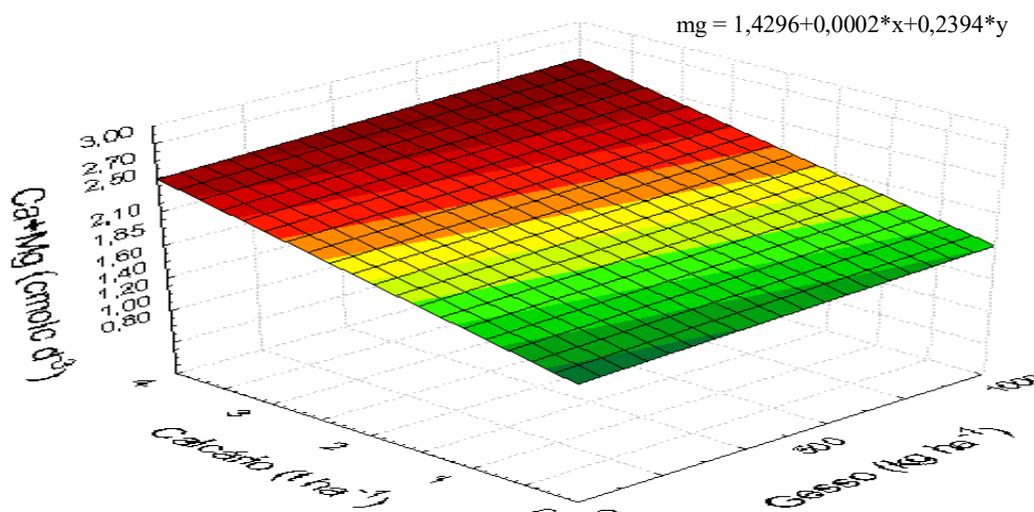


Figura 19: Teor de magnésio em Latossolo Amarelo, textura média, de Terra Alta (PA), no primeiro ciclo agrícola (2010), em função da aplicação de doses de calcário e gesso na profundidade de 0-20 cm.

$$\text{camg} = 0,7364 + 0,0007 * x + 0,5176 * y - 1,2286E-8 * x * x - 6,2333E-5 * x * y - 0,0758 * y * y$$

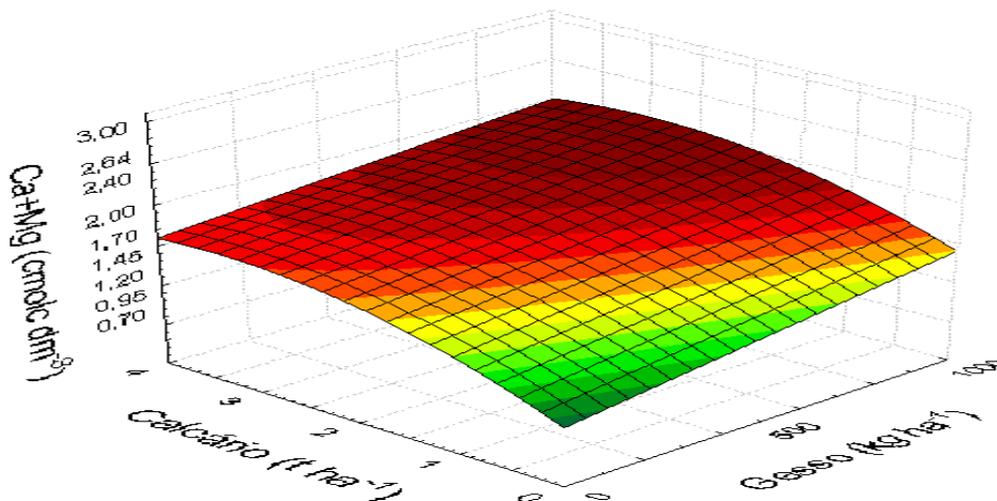


Figura 20: Teor de magnésio em Latossolo Amarelo, textura média, de Terra Alta (PA), no primeiro ciclo agrícola (2010), em função da aplicação de doses de calcário e gesso na profundidade de 20-40 cm.

No segundo ano de avaliação houve efeito significativo das interações gesso *versus* calcário e calcário *versus* profundidade. As doses de calcário apresentaram comportamento linear crescente (Figura 21), e ao avaliar a contribuição do gesso em cada nível de calcário foi possível verificar que as maiores doses apresentaram maior teor de Mg^{2+} . A interação do calcário *versus* profundidade (Figura 22) apresentou maior teor de Mg^{2+} na camada até 20 cm, sendo possível verificar a ação superficial do calcário sobre a melhoria das condições químicas do solo.

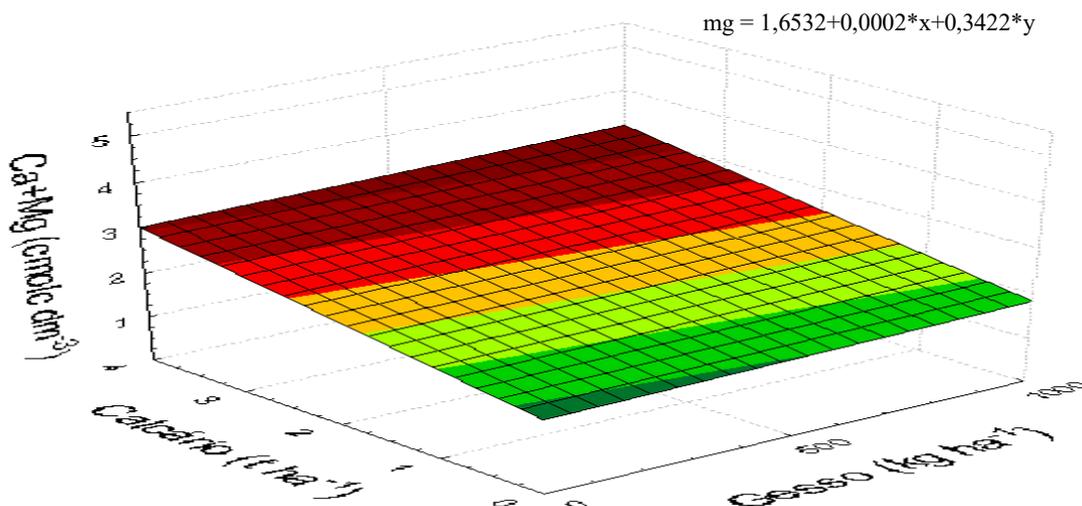


Figura 21: Teor de magnésio em Latossolo Amarelo, textura média, de Terra Alta (PA), no segundo ciclo agrícola (2011), em função da aplicação de doses de calcário e gesso.

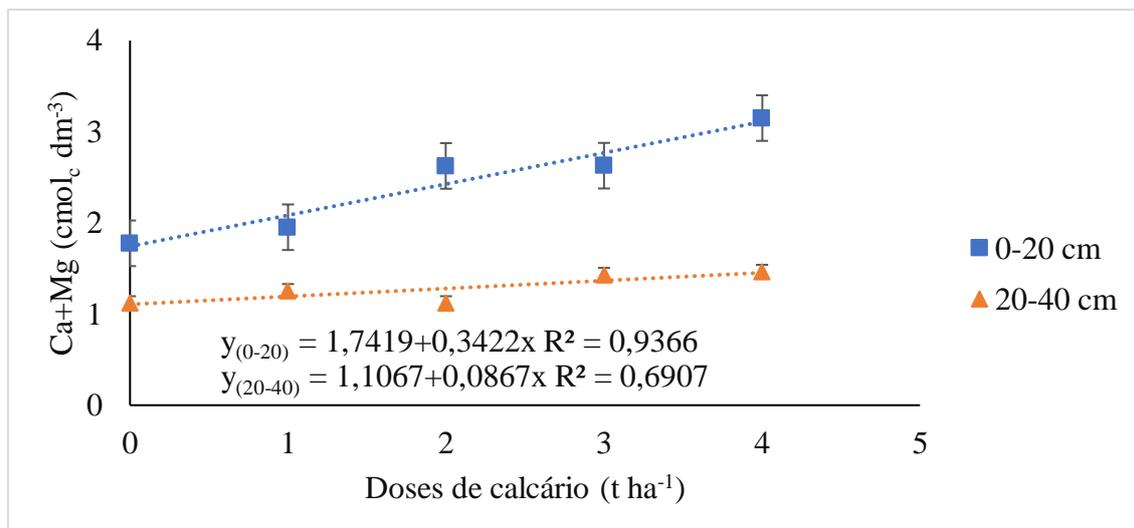


Figura 22: Teor de magnésio em Latossolo Amarelo, textura média, de Terra Alta (PA), no segundo ciclo agrícola (2011), em função da aplicação de doses de calcário nas profundidades de 0-20 cm e 20-40 cm.

No ano de 2012 houve efeito significativo da interação entre calcário versus gesso nas duas profundidades coletadas. As doses de calcário apresentaram comportamento crescente, tendo declínio do teor de Mg^{2+} a partir da dose de três toneladas na profundidade de 0-20 cm (Figura 23). Ao avaliar o efeito do gesso dentro de cada nível de calcário é possível perceber que essa combinação apresentou crescimento no teor do nutriente a medida que houve o acréscimo das doses. As doses de calcário em conjunto com as de gesso contribuíram para percolação ao longo do perfil, apresentando maior incremento quando foi utilizado $3,37 \text{ t ha}^{-1}$ de calcário e 500 kg ha^{-1} de gesso. Desta forma, a correção da acidez em profundidade é decorrente de alguns fatores, tais como: a movimentação do calcário devido o movimento gravitacional da água, íons carbonato (HCO_3^-) acompanhado de cátions Mg^{2+} e também pode ser favorecido pelos canais formados por raízes mortas e organismos do solo para o subsolo para reagir com a acidez (CAIRES *et al.*, 2003), podendo variar, também, em função da dose aplicada, granulometria do produto, tipo do solo, condições climáticas, sistema de cultivo utilizado e o tempo da aplicação (RHEINHEIMER *et al.*, 2000; CAIRES *et al.*, 2005).

$$\text{camg} = 1,0498 + 0,0012 * x + 1,1995 * y - 1,3633E-6 * x * x + 8,8333E-5 * x * y - 0,1373 * y * y$$

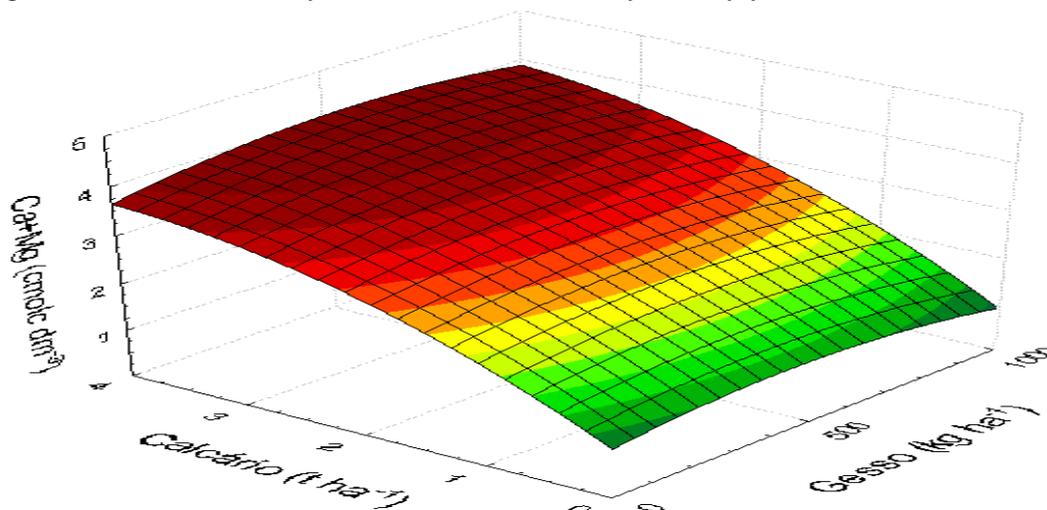


Figura 23: Teor de magnésio em Latossolo Amarelo, textura média, de Terra Alta (PA), no terceiro ciclo agrícola (2012), em função da aplicação de doses de calcário e gesso na profundidade de 0-20 cm.

A contribuição do calcário na camada de 20-40 cm foi menor quando comparada com a camada anterior, apresentando tendência a queda no teor com o aumento das doses (Figura 24), e ao ser feita a avaliação das doses de gesso dentro dos níveis de calcário é possível perceber que houve aumento no teor, porém também apresentou tendência a redução, nessa camada, a aplicação de 3,02 t ha⁻¹ de calcário em conjunto com 500 kg de gesso foram responsáveis pelo maior incremento do nutriente. A tendência de redução pode ser explicada em função da provável movimentação ocorrida nessa camada, fazendo com que essas bases se transloque para camadas superiores das avaliadas. A partir da avaliação nas duas camadas apresentadas é possível perceber que a aplicação do gesso nos três anos agrícolas proporcionou a movimentação das bases verticalmente ao longo do perfil de forma eficiente, promovendo melhorias nessa camada do solo, no entanto, as maiores concentrações desses cátions se mantiveram na camada até 20 cm. Resultados semelhantes foram encontrados por (AMARAL *et al.*, 2004; CIOTTA *et al.*, 2004; MOREIRA *et al.*, 2001) em experimento realizado com calagem em um sistema sem revolvimento verificaram a percolação das bases se restringindo a camada superficial, sendo relacionado a sua baixa taxa de movimentação e o período de ação necessário para ocorrer alterações mais pronunciadas.

$$\text{camg} = 0,7248 - 0,0001 * x + 1,6028 * y + 2E-8 * x * x - 0,0001 * x * y - 0,2512 * y * y$$

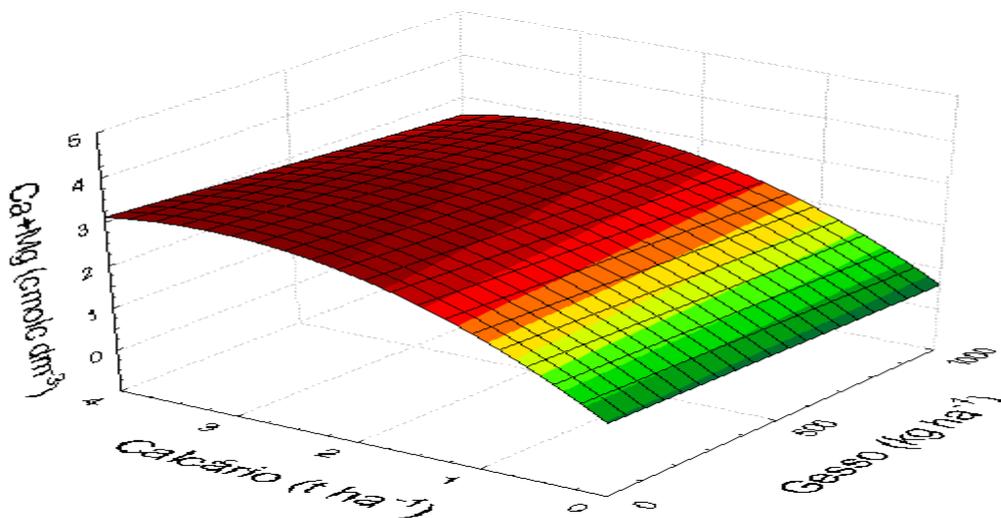


Figura 24: Teor de magnésio em Latossolo Amarelo, textura média, de Terra Alta (PA). no terceiro ciclo agrícola (2012), em função da aplicação de doses de calcário e gesso na profundidade de 20-40 cm.

2.3.1.6 Capacidade de troca de cátions (CTC)

A Capacidade de troca catiônica do solo no ano de 2010 apresentou efeito significativo para a interação doses de calcário versus gesso nas profundidades 0-20 cm (Figura 25) e 20-40 cm (Figura 26). É possível perceber que o incremento das doses de gesso em combinação com calcário teve pouca influência no aumento da CTC do solo na primeira camada, podendo ser explicado em função do curto período de ação sobre as propriedades químicas, assim como a absorção desses cátions por parte das plantas instaladas no experimento. Fazendo uma avaliação mais detalhada na camada 20-40 cm foi possível notar que a aplicação de 3,13 toneladas de calcário em conjunto com 500 kg de gesso fora responsável pelo aumento da CTC, nessa camada, contudo é possível notar uma tendência de redução na combinação de quatro toneladas por hectare com os níveis de gesso, esse comportamento está relacionado com a movimentação de bases em virtude da dissociação do gesso, fazendo com que ocorra a formação de pares iônicos com as bases e facilitando o seu transporte vertical. Resultados semelhantes foram encontrados por (ALLEONI *et al.*, 2005) em experimento realizado sob semeadura direta, o qual obteve pouco incremento na CTC ao longo do perfil, tendo efeito principalmente na camada até 10 cm, COSTA *et al.* (2006) comparando dois sistemas de produção (convencional e semeadura direta) encontraram maior CTC no segundo sistema, no

entanto os maiores valores se restringiram na camada até 10 cm. A CTC do solo depende diretamente do teor e o tipo de argila e do teor da matéria orgânica. No entanto, as características dos solos da região apresentam predominantemente argila do tipo 1:1, com reduzida área superficial e conseqüentemente menor CTC.

$$ctc = 4,7449+0,0001*x-0,0222*y$$

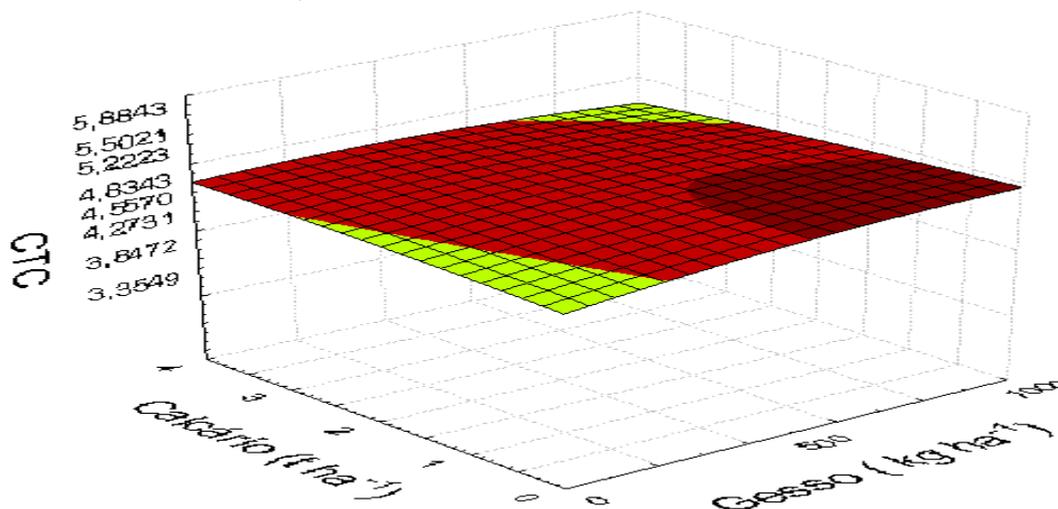


Figura 25: Capacidade de troca catiônica em Latossolo Amarelo, textura média, de Terra Alta (PA), no primeiro ciclo agrícola (2010) em função da aplicação de doses de calcário e gesso na profundidade de 0-20 cm.

$$ctc = 3,2198+0,0007*x+0,6166*y+1,913E-7*x*x-0,0003*x*y-0,0824*y*y$$

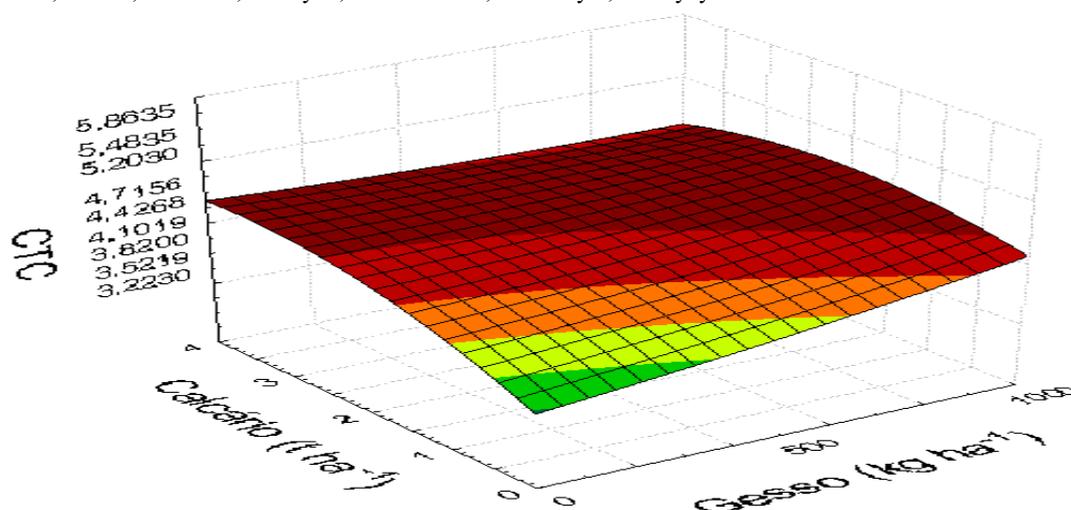


Figura 26: Capacidade de troca catiônica em Latossolo Amarelo, textura média, de Terra Alta (PA), no primeiro ciclo agrícola (2010) em função da aplicação de doses de calcário e gesso na profundidade de 20-40 cm.

No ano de 2011 verificou-se efeito significativo da interação doses de calcário *versus* gesso nas duas profundidades avaliadas. A ação do gesso e calcário na profundidade 0-20 cm (Figura 27) no segundo ciclo agrícola, apresentou crescimento linear positivo em função das doses de calcário, assim como a interação das variáveis. No

entanto ao avaliar somente as doses de gesso, as mesmas tiveram influência menor sobre o acréscimo dessa variável. Na camada de 20-40 cm (Figura 28), do mesmo ano, a ctc apresentou menores níveis com tendência de redução na interação das doses, podendo inferir que a aplicação dos corretivos está sendo responsável pelo transporte dos nutrientes que compõe a ctc abaixo da camada avaliada nesse experimento. Demonstrando que o fornecimento de cálcio pela aplicação de gesso, proporcionou melhorias, abrangendo até camadas subsuperficiais, promovendo melhorias significativas a partir do transporte de cátions, resultados semelhantes também foram encontrados por SOUZA *et al.* (2012); BRIEDIS *et al.*, (2012); ANDRÉIA *et al.* (2012), avaliando áreas sob sistema de semeadura direta perceberam melhorias nesse atributo na camada superficial, com redução à medida que aumenta a profundidade.

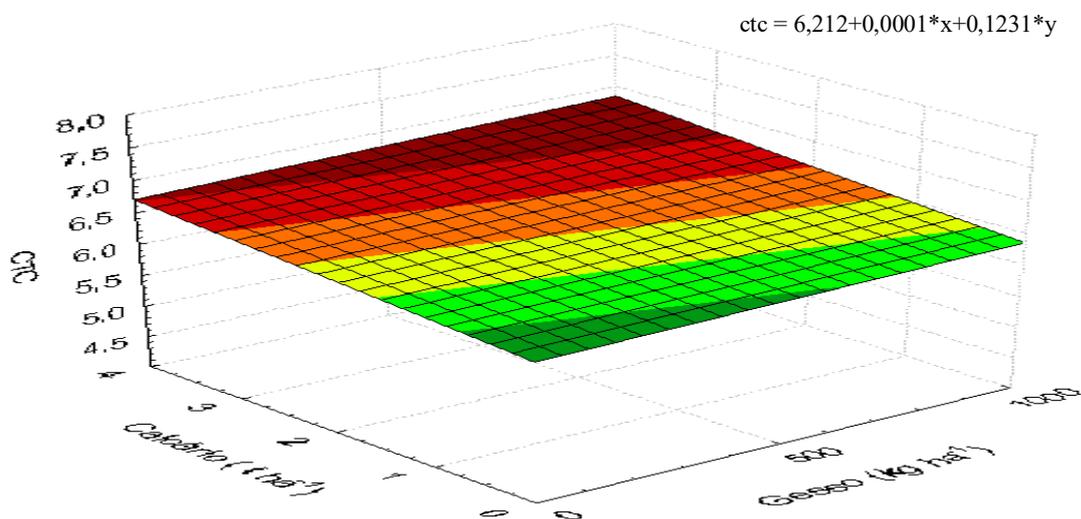


Figura 27: Capacidade de troca catiônica em Latosolo Amarelo, textura média, de Terra Alta (PA), no segundo ciclo agrícola (2011) em função da aplicação de doses de calcário e gesso na profundidade de 0-20 cm.

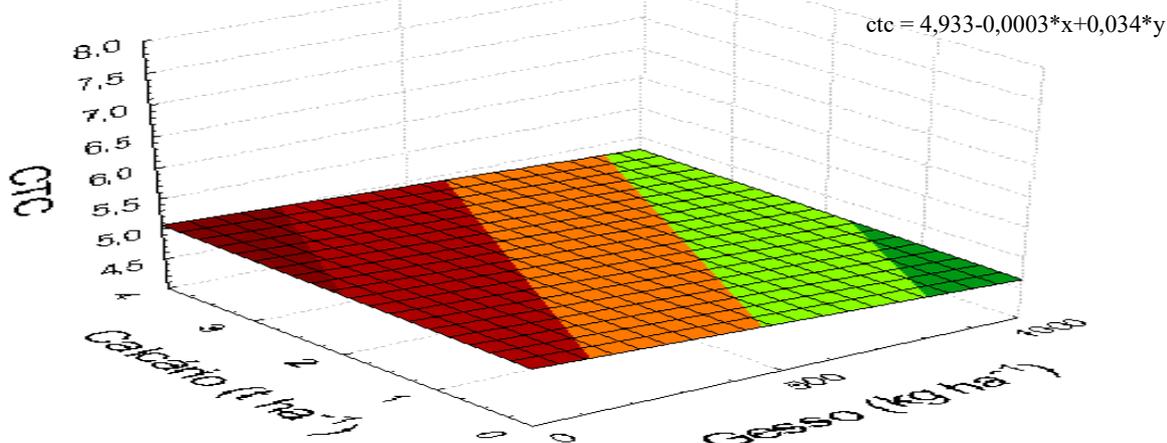


Figura 28: Capacidade de troca catiônica em Latosolo Amarelo, textura média, de Terra Alta (PA), no segundo ciclo agrícola (2011) em função da aplicação de doses de calcário e gesso na profundidade de 20-40 cm.

O terceiro ciclo agrícola também apresentou interação entre as doses de gesso e calcário nas duas profundidades avaliadas. Na primeira camada (Figura 29) a CTC não apresentou diferença significativa com o aumento das doses, mantendo as características dos anos anteriores, em função das doses. Os resultados demonstram que a aplicação dos corretivos fora responsável por promover melhorias e manter características ideais para o desenvolvimento adequado da cultura. Ao contrário da camada superficial, a região de 20-40 cm do solo (Figura 30) apresentou aumento na CTC em função das doses de calcário, assim como nas doses de gesso. A dose de 3,04 toneladas de calcário combinado com 500 kg de gesso fora responsável pelo maior aumento na CTC do solo. É possível observar nessa camada também que a partir da interação entre calcário e gesso houve redução na CTC do solo, principalmente nas maiores doses dos condicionadores, podendo afirmar que a adição de bases em conjunto com sulfato de cálcio ocorre o transporte das mesmas para camadas abaixo de 40 cm, podendo proporcionar melhorias nesse ambiente.

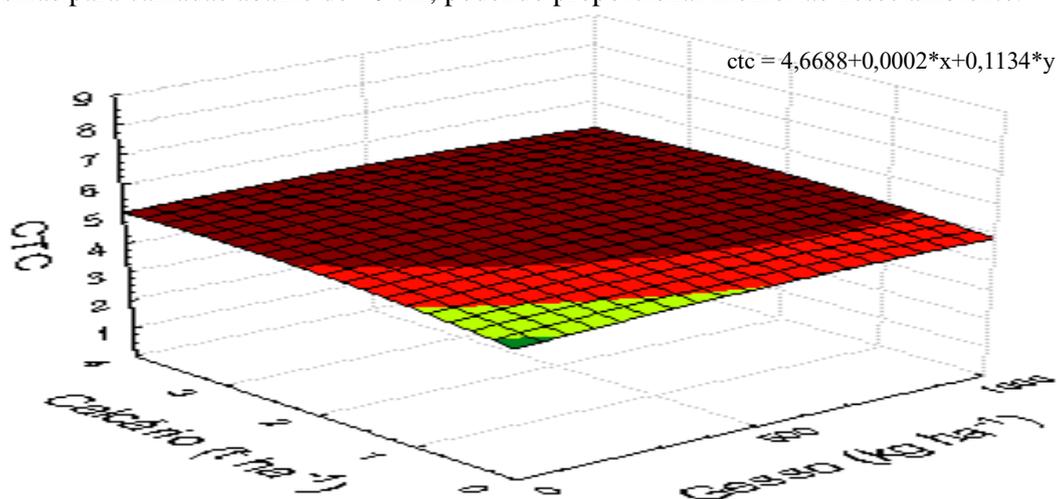


Figura 29: Capacidade de troca catiônica em Latossolo Amarelo, textura média, de Terra Alta (PA), no terceiro ciclo agrícola (2012) em função da aplicação de doses de calcário e gesso na profundidade de 0-20 cm.

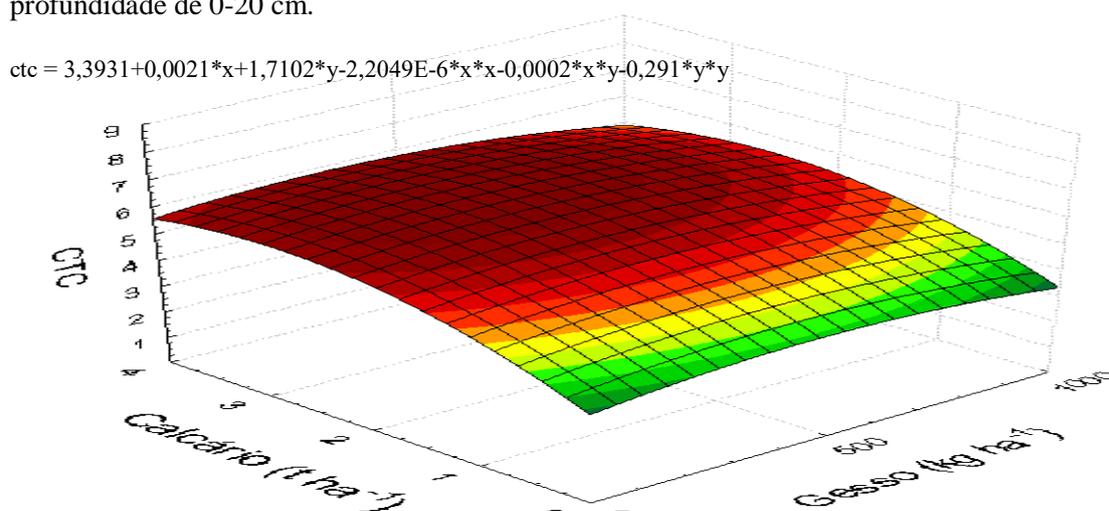


Figura 30: Capacidade de troca catiônica em Latossolo Amarelo, textura média, de Terra Alta (PA), no terceiro ciclo agrícola (2012) em função da aplicação de doses de calcário e gesso na profundidade de 20-40 cm.

2.3.1.7 Saturação por bases (V%)

A saturação por bases do solo apresentou no primeiro ano (2010) efeito significativo para a interação doses de calcário *versus* gesso nas duas profundidades. Na camada 0-20 cm (Figura 31), esse atributo do solo apresentou comportamento linear crescente em função da aplicação de doses de calcário, assim como nos níveis de gesso, e ao avaliar interação dos dois condicionadores é possível observar crescimento linear positivo, apresentando a partir da dose dois de calcário maior incremento da saturação por bases. Na camada abaixo de 20 cm (Figura 32) também apresentou acréscimo na saturação por bases em função do aumento das doses de gesso e calcário, tal incremento foi encontrado a partir da aplicação de 2,89 toneladas de calcário combinado com 500 kg de gesso, entretanto, nessa camada a saturação por bases foi menor quando comparada com a camada acima, ou seja, os corretivos promoveram movimentação de bases, as quais contribuíram para aumento do V%, no entanto, a maior concentração ocorreu na superfície do solo.

Resultados semelhantes foram encontrados por INAGAKI *et al.* (2016), JORIS *et al.* (2016); MARTINS *et al.* (2014), ao avaliar a aplicação do gesso e calcário, esses autores constataram que a melhoria na saturação por bases se concentrou até 20 cm, podendo está relacionado com a absorção dos nutrientes pelas plantas ou o curto período para a promoção de melhorias nos atributos químicos após a aplicação dos corretivos. A partir dos valores obtidos de V% fica evidente a contribuição do calcário e gesso para a melhoria das características químicas do solo. Os maiores teores de Ca e Mg encontrados anteriormente influenciaram positivamente essa propriedade avaliada, demonstrando também o efeito da movimentação vertical das bases ao longo do perfil do solo.

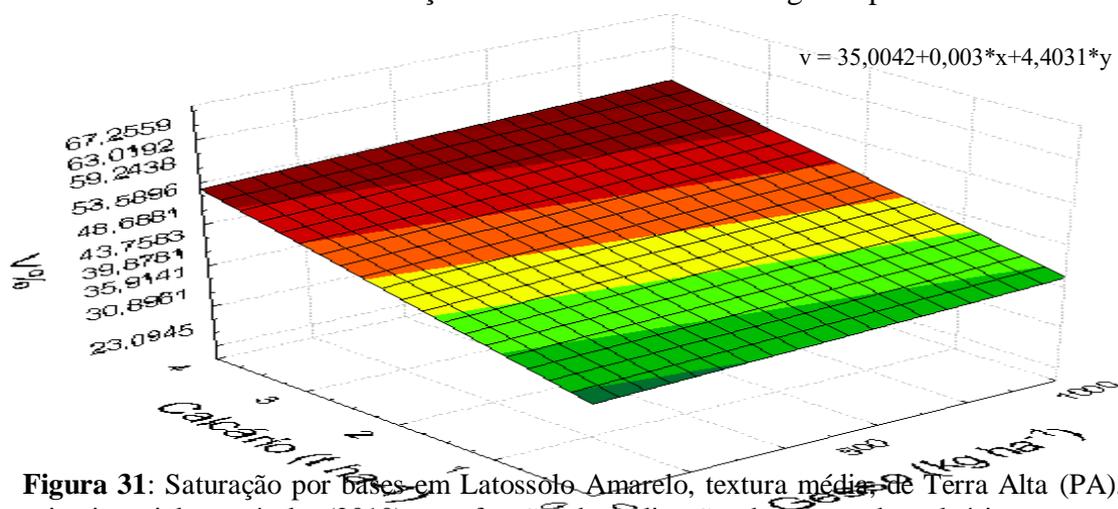


Figura 31: Saturação por bases em Latossolo Amarelo, textura média de Terra Alta (PA), no primeiro ciclo agrícola (2010) em função da aplicação de doses de calcário e gesso na profundidade de 0-20 cm.

$$V\% = 23,5745 + 0,0153 * x + 10,1085 * y - 5,3069E-6 * x * x - 0,0017 * x * y - 1,5651 * y * y$$

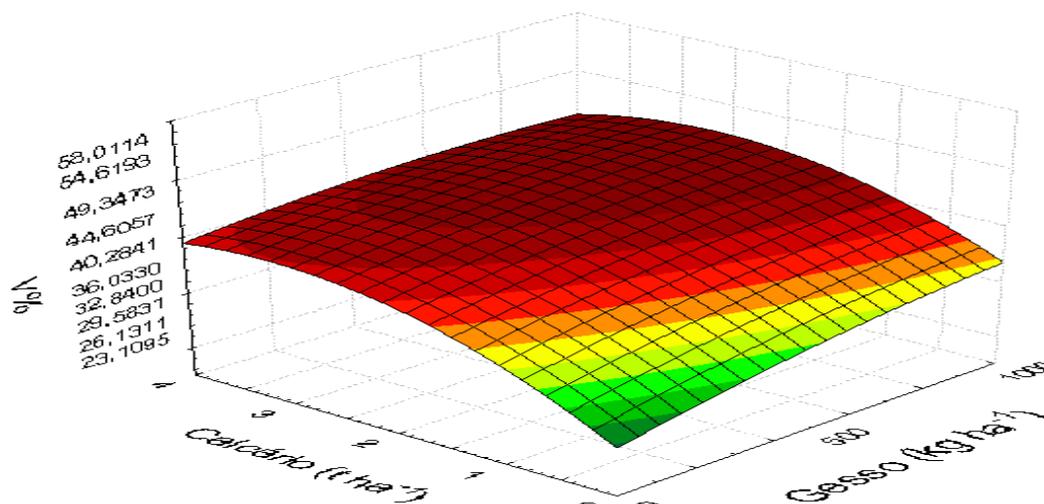


Figura 32: Saturação por bases em Latossolo Amarelo, textura média, de Terra Alta (PA), no primeiro ciclo agrícola (2010) em função da aplicação de doses de calcário e gesso na profundidade de 20-40 cm

No ano agrícola de 2011, a saturação por bases do solo apresentou efeito significativo para as interações gesso versus calcário (Figura 33) profundidade versus gesso (Figura 34). Verificou-se que as doses de calcário promoveram maior acréscimo na saturação quando comparado com a influência do gesso sobre esse atributo, é possível perceber que a interação dos dois fatores promoveu maior porcentagem de bases no solo nas maiores doses de gesso e calcário. O comportamento da saturação por bases nas duas profundidades avaliadas mostrou que as melhorias a partir dos tratamentos aplicados foram mais efetivas na camada superficial do solo, mostrando que o calcário e gesso ficaram mais concentrados na camada até 20 cm, mesmo após a incorporação.

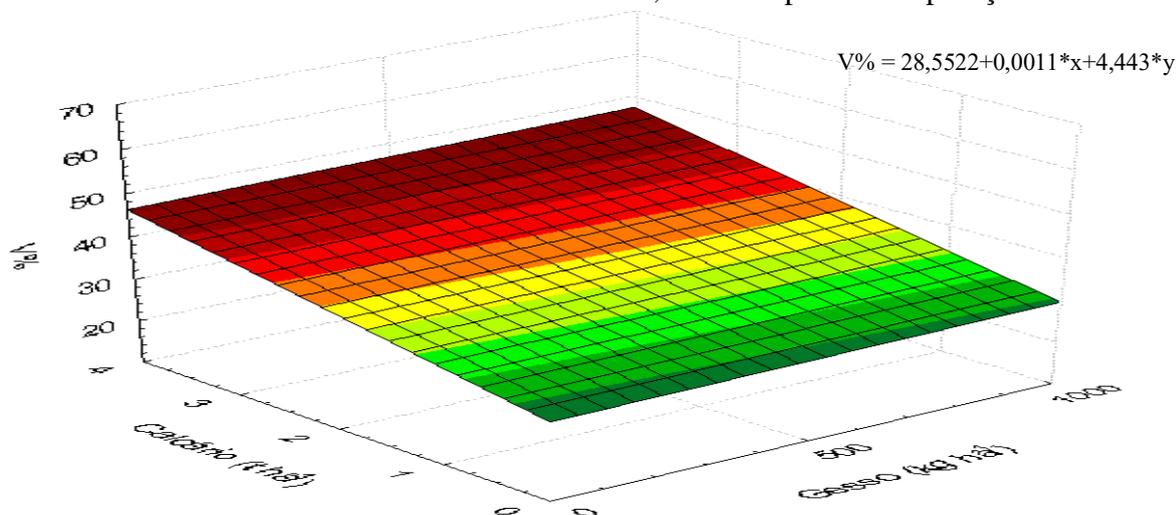


Figura 33: Saturação por bases em Latossolo Amarelo, textura média, de Terra Alta (PA), no segundo ciclo agrícola (2011) em função da aplicação de doses de calcário e gesso.

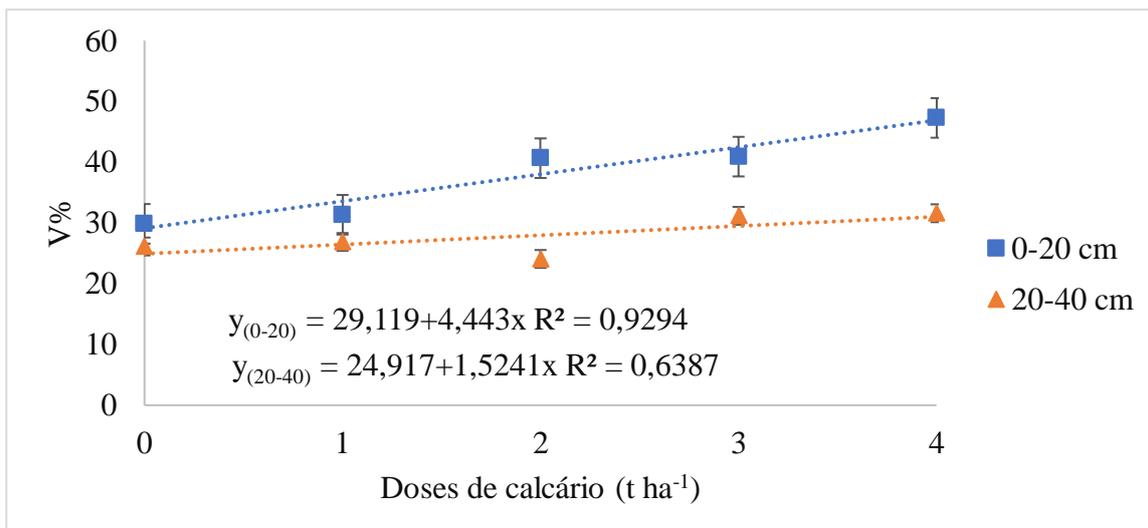


Figura 34: Saturação por bases em Latossolo Amarelo, textura média, de Terra Alta (PA), no segundo ciclo agrícola (2011) em função da aplicação de doses de calcário e gesso na profundidade de 0-20 cm e 20-40 cm.

No ano de 2012 ocorreu interação do calcário versus gesso nas duas camadas avaliadas, apresentando tendência de redução no V% mais pronunciado a partir da dose três de calcário. Essa variável teve maior resposta em função dos tratamentos na camada até 20 cm (Figura 35), e ao ser avaliado o comportamento da interação dos dois fatores é possível notar maior saturação por bases quando aplicado 2,95 toneladas de calcário com 500 kg de gesso. Entretanto, cabe ressaltar que apesar da camada abaixo de 20 cm (Figura 36) do solo ter apresentado menor saturação por bases, os resultados mostram que a eficiência do gesso em promover esse transporte vertical ao longo de perfil ocorreu, melhorando dessa forma as características químicas nessa camada, principalmente quando foi utilizado 2,76 toneladas de calcário com 500 kg de gesso. Resultados semelhantes foram encontrados por FERNANDES *et al.*, (2013), avaliando a produtividade do feijão caupi com aplicação do calcário a lanço sem incorporação, verificaram que a melhoria na V% ficou abaixo de 50% do pretendido para o cultivo em virtude do não revolvimento e da baixa solubilização.

$$V\% = 18,7437 + 0,0193 * x + 26,0821 * y - 1,8179E-5 * x * x + 7,9675E-5 * x * y - 3,1146 * y * y$$

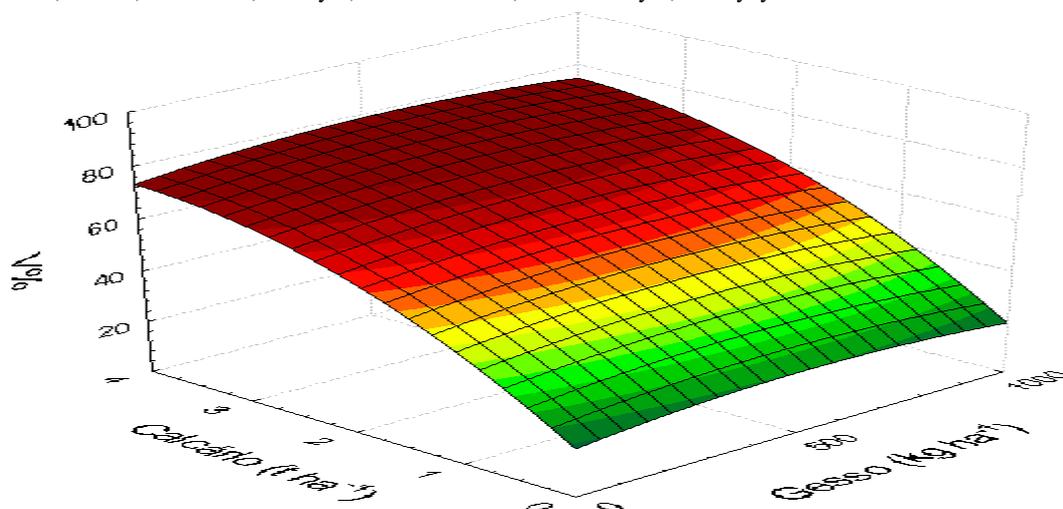


Figura 35: Saturação por bases em Latossolo Amarelo, textura média, de Terra Alta (PA), no terceiro ciclo agrícola (2012) em função da aplicação de doses de calcário e gesso na profundidade de 0-20 cm.

$$V\% = 19,0565 + 0,0157 * x + 24,1219 * y - 1,6752E-5 * x * x - 0,0008 * x * y - 3,4878 * y * y$$

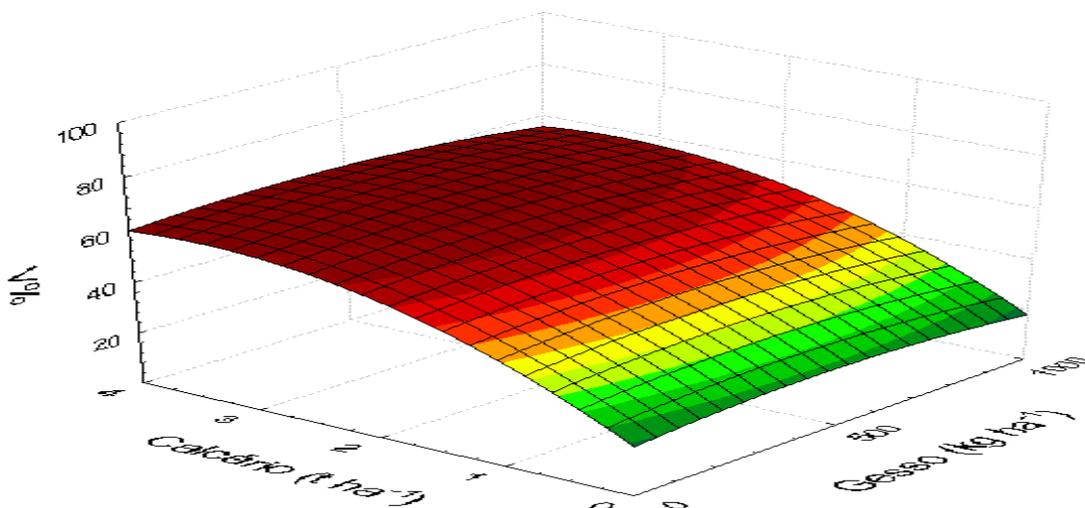


Figura 36: Saturação por bases em Latossolo Amarelo, textura média, de Terra Alta (PA), no terceiro ciclo agrícola (2012) em função da aplicação de doses de calcário e gesso na profundidade de 20-40 cm.

2.3.1.8 Fósforo disponível (P)

O maior teor de fósforo no solo foi encontrado na camada superficial de 0-20 cm (Figura 37) no ano de 2010, havendo efeito da profundidade sobre os teores desse nutriente. Resultados semelhantes foram encontrados por HANSEL *et al.* (2017) em

trabalho realizado em um sistema de semeadura direta, que apresentou maior teor de nas camadas superficiais. O fósforo por ter baixa mobilidade no solo é esperado que o maior teor seja encontrado nas camadas superficiais. A aplicação de adubo fosfatado em conjunto com a ação da aplicação do calcário pode ser visualizada nessa condição, pois ao melhorar as condições ácidas do solo, por meio da calagem, permitiu que o fósforo fornecido, que possivelmente estaria ligado a óxidos de ferro e alumínio, encontrando-se em forma não disponível para a absorção da planta, pudesse estar na solução do solo em virtude do pH adequado (FINK *et al.*, 2014).

A calagem, combinada ou não com o gesso, em superfície elevou os teores de P nas primeiras camadas do solo. O aumento do pH promovido por esse produto aumentou a concentração de OH^- em solução do solo, as quais forma responsáveis pela precipitação de íons Fe e Al da solução, desta maneira, ocorreu redução na precipitação do P na forma de fosfato de alumínio e ferro de reduzida solubilidade (ERNANI *et al.*, 2000).

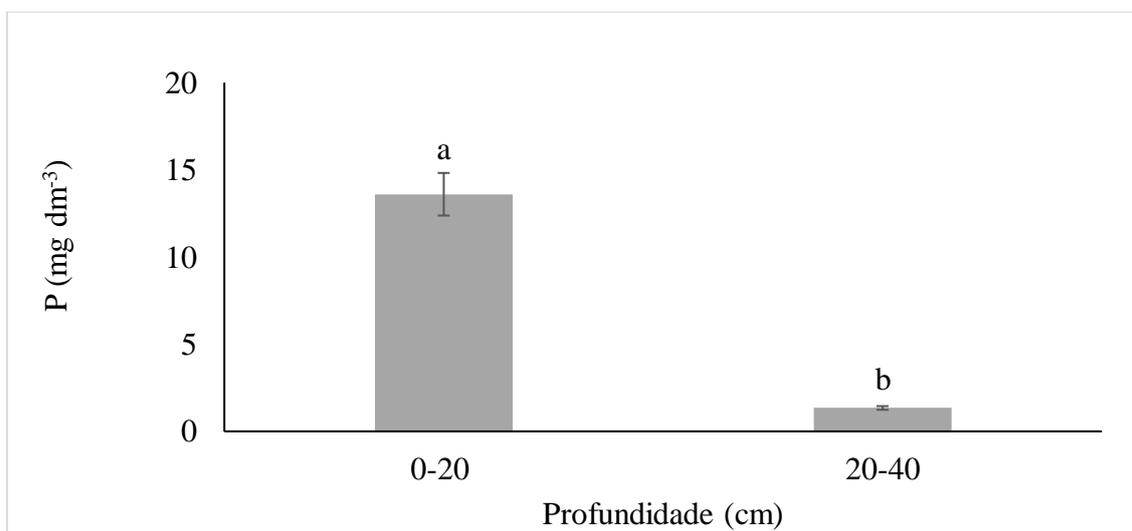


Figura 37: Teor de fósforo em Latossolo Amarelo, textura média, de Terra Alta (PA), no primeiro ciclo agrícola (2010), em função das profundidades de 0-20 e 20-40 cm.

No segundo ano avaliado (2011), os teores de P foram influenciados pela interação de doses de gesso versus calcário nas duas profundidades (Figura 38, 39). O comportamento do fósforo não teve um padrão em função das doses, apresentando uma alta variabilidade dos dados, esse comportamento é esperado pois a adubação localizada e o não revolvimento faz com que a precisão na avaliação desse nutriente seja afetada, assim como o não revolvimento do solo também contribui para o ocorrido, sendo necessário, possivelmente, realizar um número maior de amostras das que foram

coletadas nesse experimentos para minimizar esse efeito, no entanto fica claro que o P ficou concentrado na camada até 20 cm do solo devido sua mobilidade.

No terceiro ano de avaliação (2012) houve efeito isolado das doses de gesso e calcário sobre o teor de P do solo, apresentando maior teor de fósforo nas maiores doses de gesso e de calcário. É possível perceber a ação do gesso (Figura 40) sobre o aumento da disponibilidade de fósforo em virtude das maiores doses, pois o sulfato do gesso compete com o P pelos sítios de adsorção e por isso o aumento do gesso diminui a adsorção de P, com aumento da disponibilidade deste, enquanto que a ação do calcário promove aumento do pH, proporcionando redução dos processos de fixação e também aumento da disponibilidade de fósforo (Figura 41), processos explicados por (CAIRES *et al.*, 2003; CAIRES *et al.*, 2011; RAMPIM *et al.*, 2013; VITAL *et al.*, 2005). Em conjunto com a ação dos produtos químicos, segundo ROTA *et al.* (2015), o maior conteúdo de matéria orgânica encontrado em sistemas sem revolvimento com a manutenção da palhada sobre o solo pode, também, contribuir para a baixa taxa de fixação do P em virtude das ligações dos compostos orgânicos aos colóides do solo.

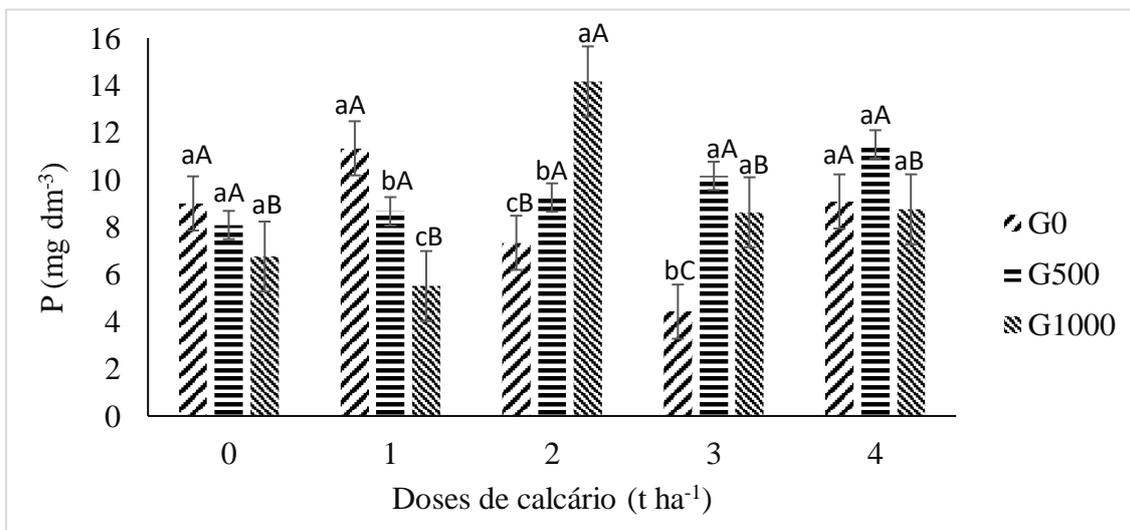


Figura 38: Teor de fósforo em Latossolo Amarelo, textura média, de Terra Alta (PA), no segundo ciclo agrícola (2011), em função da aplicação das doses de calcário e gesso na profundidade de 0-20 cm. Letras minúsculas comparam as doses de gesso dentro da mesma dose de calcário e letras maiúsculas comparam doses de gesso entre as diferentes doses de calcário, pelo teste Scott Knott ($p < 0,05$).

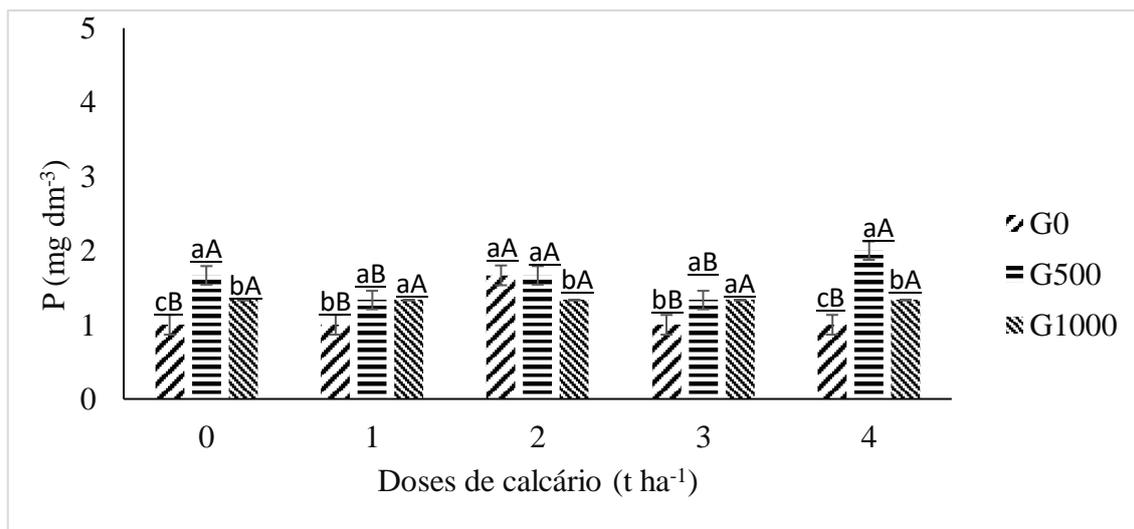


Figura 39: Teor de fósforo em Latossolo Amarelo, textura média, de Terra Alta (PA). no segundo ciclo agrícola (2011), em função da aplicação das doses de calcário e gesso na profundidade de 20-40 cm. Letras minúsculas comparam as doses de gesso dentro da mesma dose de calcário e letras maiúsculas comparam doses de gesso entre as diferentes doses de calcário, pelo teste Scott Knott ($p < 0,05$).

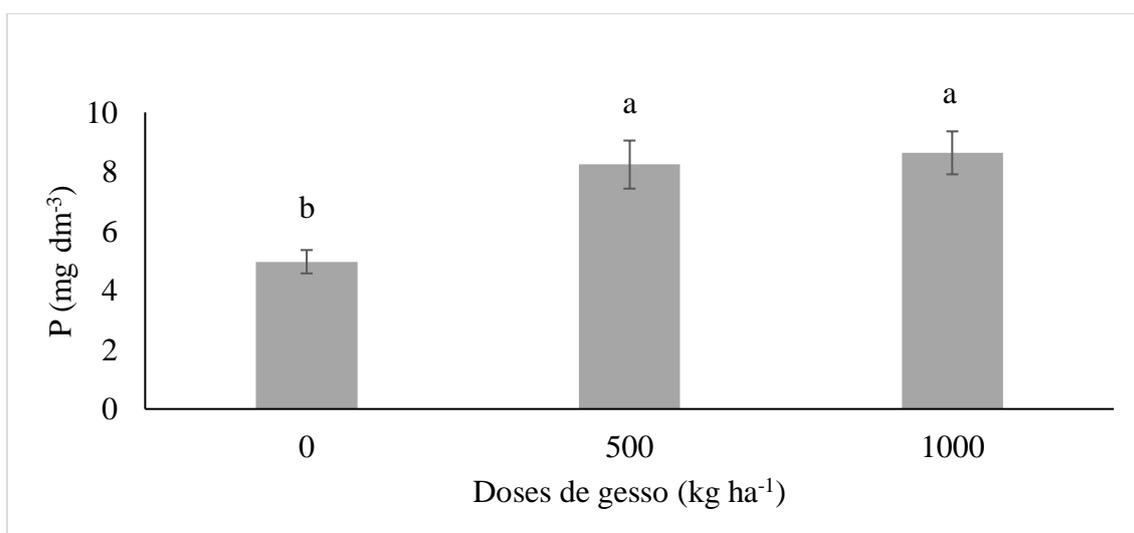


Figura 40: Teor de fósforo em Latossolo Amarelo, textura média, de Terra Alta (PA). no terceiro ciclo agrícola (2012), em função da aplicação das doses de gesso.

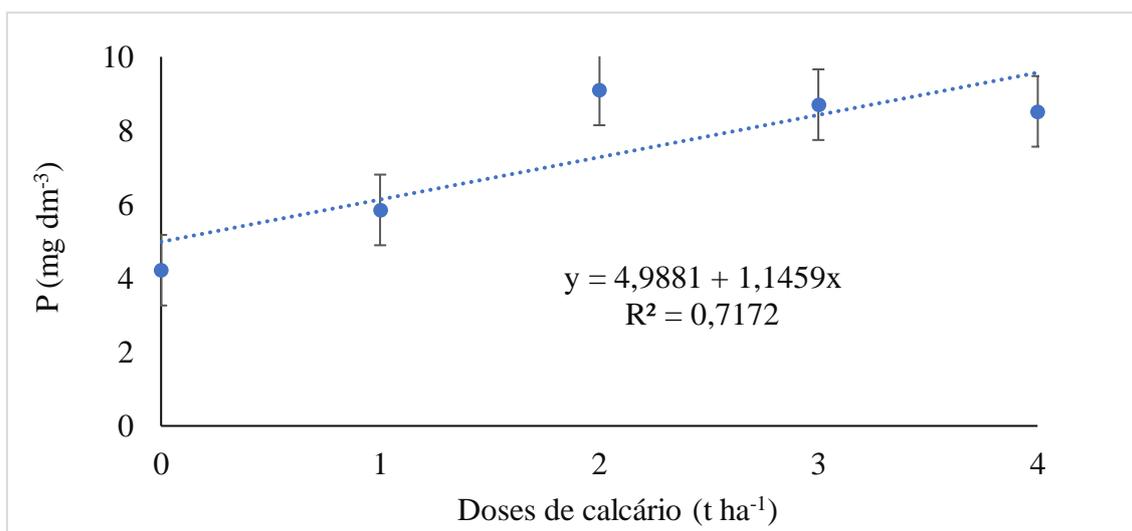


Figura 41: Teor de fósforo em Latossolo Amarelo, textura média, de Terra Alta (PA), no terceiro ciclo agrícola (2012), em função da aplicação das doses de calcário.

2.4 CONCLUSÃO

1- A adição de calcário, associado ou não ao gesso, promove aumento do pH do solo e corrige a acidez tanto ativa quanto trocável, principalmente na camada 0-20 cm, e provoca efeito residual ao longo dos anos avaliados.

2- A utilização de gesso agrícola no sistema de produção promove aumento das concentrações de Ca^{2+} e Mg^{2+} trocável em profundidade, contribuindo para que os teores dos mesmos se encontrem em níveis adequados nas camadas subsuperficiais.

3- De maneira geral, ocorre melhoria nos atributos químicos do solo, tanto na camada de 0-20 cm como em profundidade (20-40 cm), seja pela adição de calcário ou gesso ou em associação. Na camada de 20-40 cm ocorrem maiores melhorias nos atributos químicos com a adição de gesso em comparação com o calcário.

2.5 REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, J. A., BAYER, C., ERNANI, P. R., MAFRA, A. L., & FONTANA, E. C. (2003). Aplicação de calcário e fósforo e estabilidade da estrutura de um solo ácido. **Revista brasileira de ciências do solo**. Campinas. Vol. 27, n. 5 (set./out. 2003), p. 799-806.
- ALLEONI, L. R. F., CAMBRI, M. A., & CAIRES, E. F. (2005). 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**, 29(6), 923-934.
- AMARAL, A. S., ANGHINONI, I., HINRICHES, R., & BERTOL, I. (2004). Movimentação de partículas de calcário no perfil de um Cambissolo em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 28(2).
- ANDRADE, A. P., MAFRA, Á. L., DELLA PICCOLLA, C., ALBUQUERQUE, J. A., & BERTOL, I. (2012). Atributos químicos de um Cambissolo Húmico após 12 anos sob preparo convencional e semeadura direta em rotação e sucessão de culturas. **Ciência Rural**, 42(5), 814-821.
- AZEVEDO, D. M. P., LEITE, L. F. C., NETO, M. L. T., DANTAS, J. S., (2007). Atributos físicos e químicos de um Latossolo Amarelo e distribuição do sistema radicular da soja sob diferentes sistemas de preparo no cerrado maranhense. **Revista Ciência Agronômica**, 38(1).
- BARBIERI, P. A., ECHEVERRÍA, H. E., ROZAS, H. R. S., & MARTÍNEZ, J. P. (2015). Soybean and wheat response to lime in no-till Argentinean mollisols. **Soil and Tillage Research**, 152, 29-38.
- BASSO, C. J., SOMAVILLA, L., FERREIRA DA SILVA, R., & SANTI, A. L. (2015). Intervenção mecânica e gesso agrícola para mitigar o gradiente vertical de cátions sob sistema de plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, 45(4)
- BEUTLER, A. N., MUNARETO, J. D., GRECO, A. M. F., POZZEBON, B. C., GALON, L., GUIMARÃES, S., ... & DA SILVA ALVES, G. (2014). Manejo do solo, palha residual e produtividade de arroz irrigado por inundação. **Semina: Ciências Agrárias**, 35(3), 1153-1161.
- BEUTLER, A. N., MUNARETO, J. D., GRECO, A. M. F., POZZEBON, B. C., GALON, L., GUIMARÃES, S., ... & DA SILVA ALVES, G. (2014). Manejo do solo, palha residual e produtividade de arroz irrigado por inundação. **Semina: Ciências Agrárias**, 35(3), 1153-1161.
- BORTOLANZA, D. R., & KLEIN, V. A. (2016). Soil Chemical and Physical Properties on an Inceptisol after Liming (Surface and Incorporated) Associated with Gypsum Application. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 40.
- BRAVIN, M. P., & DE OLIVEIRA, T. K. (2014). Adubação nitrogenada em milho e capim-xaraés sob plantio direto e preparo convencional em sistema agrossilvipastoril. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 49(10), 762-770.

- BRIEDIS, C., DE MORAES SÁ, J. C., CAIRES, E. F., DE FÁTIMA NAVARRO, J., INAGAKI, T. M., & DE OLIVEIRA FERREIRA, A. (2012). Carbono do solo e atributos de fertilidade em resposta à calagem superficial em plantio direto. **Pesquisa agropecuária brasileira**, 47(7), 1009-1016.
- CAIRES, E. F., ALLEONI, L. R., CAMBRI, M. A., & BARTH, G. (2005). Surface application of lime for crop grain production under a no-till system. **Agronomy Journal**, 97(3), 791-798.
- CAIRES, E. F., BARTH, G., & GARBUIO, F. J. (2006). Lime application in the establishment of a no-till system for grain crop production in Southern Brazil. **Soil and Tillage Research**, 89(1), 3-12.
- CAIRES, E. F., BLUM, J., BARTH, G., GARBUIO, F. J., & KUSMAN, M. T. (2003). 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**, 27(2), 275-286.
- CAIRES, E. F., JORIS, H. A. W., & CHURKA, S. (2011). Long-term effects of lime and gypsum additions on no-till corn and soybean yield and soil chemical properties in southern Brazil. **Soil Use and Management**, 27(1), 45-53.
- CARMO, C. D. S., de ARAUJO, W. S., BERNARDI, A. D. C., & SALDANHA, M. F. C. (2000). Métodos de análise de tecidos vegetais utilizados na Embrapa Solos. **Embrapa Solos-Circular Técnica (INFOTECA-E)**.
- CARVALHO, J.L.N.; AVANZI, J.C.; SILVA, M.L.N.; MELLO, C.R. & CERRI, C.E.P. (2010). Potencial de sequestro de carbono em diferentes biomas do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 34:277-289.
- CIOTTA, M. N., BAYER, C., ERNANI, P. R., FONTOURA, S. M. V., WOBETO, C., & ALBUQUERQUE, J. A. (2004). Manejo da calagem e os componentes da acidez de Latossolo Bruno em plantio direto. **Revista brasileira de ciência do solo**. Campinas. Vol. 28, n. 2 (2004), p. 317-326.
- COSTA, C. H. M., & CRUSCIOL, C. A. C. (2016). Long-term effects of lime and phosphogypsum application on tropical no-till soybean–oat–sorghum rotation and soil chemical properties. **European Journal of Agronomy**, 74, 119-132.
- COSTA, E. A., GOEDERT, W. J., & DE SOUSA, D. M. G. (2006). Qualidade de solo submetido a sistemas de cultivo com preparo convencional e plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 41(7), 1185-1191.
- CRAVO, M. S., JOT SMYTH, T., & BRASIL, E. C., (2012). Calagem em Latossolo amarelo distrófico da Amazônia e sua influência em atributos químicos do solo e na produtividade de culturas anuais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 36(3).
- CRUSCIOL, C. A. C., GARCIA, R. A., CASTRO, G. S. A., & ROSOLEM, C. A. (2011). Nitrate role in basic cation leaching under no-till. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 35(6), 1975-1984.
- CRUSCIOL, C. A., ARTIGIANI, A. C., ARF, O., CARMEIS FILHO, A. C., SORATTO, R. P., NASCENTE, A. S., & ALVAREZ, R. C. (2016). Soil fertility, plant nutrition, and

grain yield of upland rice affected by surface application of lime, silicate, and phosphogypsum in a tropical no-till system. **Catena**, 137, 87-99.

ERNANI, P. R., RIBEIRO, M. S., & BAYER, C. (2001). Modificações químicas em solos ácidos ocasionadas pelo método de aplicação de corretivos da acidez e de gesso agrícola. **Scientia agricola: USP. ESALQ**. Piracicaba. Vol. 58, n. 4 (out./dez. 2001), p. 825-831.

FILHO, A. C. C., CRUSCIOL, C. A., GUIMARÃES, T. M., CALONEGO, J. C., & MOONEY, S. J. (2016). Impact of amendments on the physical properties of soil under tropical long-term no till conditions. **PloS one**, 11(12), 0167564.

FINK, J. R., INDA, A. V., BAYER, C., TORRENT, J., & BARRÓN, V. (2014). Mineralogy and phosphorus adsorption in soils of south and central-west Brazil under conventional and no-tillage systems. **Acta Scientiarum. Agronomy**, 36(3), 379-387.

FOLONI, J. S. S., & ROSOLEM, C. A. (2008). Produtividade e acúmulo de potássio na soja em função da antecipação da adubação potássica no sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 32(4).

FONTANA, A., TEIXEIRA, W. G., DE CARVALHO BALIEIRO, F., DE MOURA, T. P. A., DE MENEZES, A. R., & SANTANA, C. I. (2016). Características e atributos de Latossolos sob diferentes usos na região Oeste do Estado da Bahia. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 51(9), 1457-1465.

FREDDI, O. D. S., TAVANTI, R. F. R., SOARES, M. B., ALMEIDA, F. T. D., & PERES, F. S. C. (2017). PHYSICAL-CHEMICAL QUALITY OF A LATOSSOL UNDER DIRECT SEEDING AND SOYBEAN-CORN SUCCESSION IN THE CERRADO-AMAZONIAN ECOTONE. **Revista Caatinga**, 30(4).

GAMA, J.R.N.F.; RODRIGUES, T.E. & CARDOSO JUNIOR, E.Q. Levantamento dos solos e uso atual do campo experimental de Terra Alta, Pará. Belém, Embrapa Amazônia Oriental, 2000. (Documentos, 45)

HANSEL, F. D., RUIZ DIAZ, D. A., AMADO, T. J., & ROSSO, L. H. (2017). Deep Banding Increases Phosphorus Removal by Soybean Grown under No-Tillage Production Systems. **Agronomy Journal**, 109(3), 1091-1098.

INAGAKI, T. M., DE MORAES SÁ, J. C., CAIRES, E. F., & GONÇALVES, D. R. P. (2016). Lime and gypsum application increases biological activity, carbon pools, and agronomic productivity in highly weathered soil. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, 231, 156-165.

JORIS, H. A. W., CAIRES, E. F., BINI, A. R., SCHARR, D. A., & HALISKI, A. (2013). Effects of soil acidity and water stress on corn and soybean performance under a no-till system. **Plant and soil**, 365(1-2), 409-424.

LUCIANO, R. V., ALBUQUERQUE, J. A., DA COSTA, A., BATISTELLA, B., & WARMLING, M. T. (2012). Atributos físicos relacionados à compactação de solos sob vegetação nativa em região de altitude no Sul do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 36(6).

MARTINS, A. P., ANGHINONI, I., DE ANDRADE COSTA, S. E. V., CARLOS, F. S., DE HOLANDA NICHEL, G., SILVA, R. A. P., & DE FACCIO CARVALHO, P. C. (2014). Amelioration of soil acidity and soybean yield after surface lime reapplication to a long-term no-till integrated crop-livestock system under varying grazing intensities. **Soil and Tillage Research**, 144, 141-149.

MICHALOVICZ, L., MÜLLER, M. M. L., FOLONI, J. S. S., KAWAKAMI, J., NASCIMENTO, R. D., & KRAMER, L. F. M. (2014). Soil fertility, nutrition and yield of maize and barley with gypsum application on soil surface in no-till. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 38(5), 1496-1505.

MIYAZAWA, M., PAVAN, M. A., & FRANCHINI, J. C. (2002). Evaluation of plant residues on the mobility of surface applied lime. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, 45(3), 251-256.

MOREIRA, A., & FAGERIA, N. K. (2010). Liming influence on soil chemical properties, nutritional status and yield of alfalfa grown in acid soil. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, 34(4), 1231-1239.

MOREIRA, S. G., KIEHL, J. C., PROCHNOW, L. I., & PAULETTI, V. (2001). Calagem em sistema de semeadura direta e efeitos sobre a acidez do solo, disponibilidade de nutrientes e produtividade de milho e soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 25(1).

NASCIMENTO, R., SOUZA, J. A. D., MOREIRA, A., & MORAES, L. A. C. (2017). Phosphogypsum and vinasse application: soil chemical properties and alfalfa productivity and nutritional characteristics. **Revista caatinga**, 30(1), 213-219.

NAVA, G., ERNANI, P. R., SÁ, A. A. D., & PEREIRA, A. J. (2012). Soil composition and nutritional status of apple as affected by long-term application of gypsum. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 36(1), 215-222.

NORA, D. D., AMADO, T. J. C., NICOLOSO, R. D. S., MAZUCO, A. C. B., & PICCIN, M. (2017). Mitigation of the Gradient of Chemical Properties in the Rooting Zone of Dystrophic Oxisols by Gypsum and Lime Inputs under a No-Till System. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 41.

PAULETTI, V., DE PIERRI, L., RANZAN, T., BARTH, G., & VARGAS MOTTA, A. C. (2014). Efeitos em longo prazo da aplicação de gesso e calcário no sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 38(2).

PERES SORATTO, R., & COSTA CRUSCIOL, C. A. (2008). Métodos de determinação de cálcio e magnésio trocáveis e estimativa do calcário residual em um latossolo submetido à aplicação de calcário e gesso em superfície. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 32(2).

RAMOS, B. Z., VAZ FLORIANO TOLEDO, J. P., DE LIMA, J. M., SERAFIM, M. E., RIBEIRO BASTOS, A. R., GONTIJO GUIMARÃES, P. T., & COSCIONE, A. R. (2013). Doses de gesso em cafeeiro: influência nos teores de cálcio, magnésio, potássio e pH na solução de um Latossolo Vermelho distrófico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 37(4).

- RAMPIM, L., DO CARMO LANA, M., & FRANDOLOSO, J. F. (2013). Fósforo e enxofre disponível, alumínio trocável e fósforo remanescente em Latossolo vermelho submetido ao gesso cultivado com trigo e soja. **Semina: Ciências Agrárias**, 34(4), 1623-1638.
- RAMPIM, L., LANA, M. D. C., FRANDOLOSO, J. F., & FONTANIVA, S. (2011). Atributos químicos de solo e resposta do trigo e da soja ao gesso em sistema semeadura direta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 35(5).
- RHEINHEIMER, D. S., TIECHER, T., GONZATTO, R., ZAFAR, M., & BRUNETTO, G. (2018). Residual effect of surface-applied lime on soil acidity properties in a long-term experiment under no-till in a Southern Brazilian sandy Ultisol. **Geoderma**, 313, 7-16.
- RODRIGHERO, M. B., BARTH, G., & FÁVERO CAIRES, E. (2015). Aplicação superficial de calcário com diferentes teores de magnésio e granulometrias em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 39(6).
- ROSSATO, O. B., FOLTRAN, R., CRUSCIOL, C. A. C., MARTELLO, J. M., ROSSETTO, R., & MCCRAY, J. M. (2017). Soil fertility, ratoon sugarcane yield, and post-harvest residues as affected by surface application of lime and gypsum in southeastern Brazil. **Bioscience Journal**, 33(2).
- ROTTA, L. R., PAULINO, H. B., ANGHINONI, I., SOUZA, E. D. D., LOPES, G., & CARNEIRO, M. A. C. (2015). Phosphorus fractions and availability in a haplic plinthosol under no-tillage system in the brazilian cerrado. **Ciência e Agrotecnologia**, 39(3), 216-224.
- SANTOS RHEINHEIMER, D., DA SILVA SANTOS, E. J., KAMINSKI, J., & XAVIER, F. M. (2000). Aplicação superficial de calcário no sistema plantio direto consolidado em solo arenoso. **Ciência Rural**, 30(2), 263-268.
- SANTOS, L. H. D., CANTON, L., VENTURA, B. S., FERREIRA, G. W., KURTZ, C., BRUNETTO, G., ... & LOSS, A. (2017). Chemical Properties in Macroaggregates of a Humic Dystrudept Cultivated with Onion under No-Till and Conventional Tillage Systems. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 41.
- SCHLINDWEIN, J. A., & ANGHINONI, I. (2000). Variabilidade horizontal de atributos de fertilidade e amostragem do solo no sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, 24(1).
- SERAFIM, M. E., DE LIMA, J. M., MENDES PEREIRA LIMA, V., MARQUES ZEVIANI, W., & PESSONI, P. T. (2012). Alterações físico-químicas e movimentação de íons em Latossolo gibbsítico sob doses de gesso. **Bragantia**, 71(1).
- SHAMSHUDDIN, J., & FAUZIAH, C. I. (2010). Alleviating acid soil infertility constraints using basalt, ground magnesium limestone and gypsum in a tropical environment. **Malays J Soil Sci**, 14, 1-13.
- SILVA, M. A. G., MUNIZ, A. S., SENGIK, E., MATA, J. D. V., CARISSIMI, C., & CEGANA, A. C. (2003). Amostragem e variabilidade nos atributos de fertilidade em um latossolo sob plantio direto em São Miguel do Iguçu, Estado do Paraná. **Acta Scientiarum: Agronomy**, 25, 243-248.

SOMAVILLA, L., BISON PINTO, M. A., BASSO, C. J., ORLANDO DA ROS, C., RODRIGUES DA SILVA, V., BRUN, T., & SANTI, A. L. (2016). Response of soybean and corn to soil mechanical intervention and agricultural gypsum application to the soil surface. **Semina: Ciências Agrárias**, 37(1).

SOUZA, F. R., JUNIOR, E. J. R., FIETZ, C. R., BERGAMIN, A. C., ROSA, Y. B. C. J., & ZEVIANI, W. M. (2012). Gypsum effects on soil chemical properties under two management systems. **Semina: Ciências Agrárias**, 33(5), 1717-1732.

TIRITAN, C. S., BÜLL, L. T., CRUSCIOL, C. A., CARMEIS FILHO, A. C., FERNANDES, D. M., & NASCENTE, A. S. (2016). Tillage system and lime application in a tropical region: Soil chemical fertility and corn yield in succession to degraded pastures. **Soil and Tillage Research**, 155, 437-447.

TOFFOLLI, L. C. B., ASSMANN, T. S., ASSMANN, A. L., CASSOL, L. C., TOFFOLLI, R. B., NICOLA, V., & FERRAZZA, J. (2014). Application limestone forms and doses for Alfalfa in no-tillage system. **Revista Ciência Agronômica**, 45(5SPE), 906-913.

TORRES, J. R., L., PEREIRA, M. G., LARA DE ASSIS, R., & MENEZES DE SOUZA, Z. (2015). Atributos físicos de um Latossolo Vermelho cultivado com plantas de cobertura, em semeadura direta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 39(2).

VALADÃO, F. C. A., DOS SANTOS WEBER, O. L., VALADAO JUNIOR, D. D., SCAPINELLI, A., DEINA, F. R., & BIANCHINI, A. (2015). Adubação fosfatada e compactação do solo: sistema radicular da soja e do milho e atributos físicos do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 39(1).

VARGAS, G. D., & MARQUES, R. (2017). Crescimento e Nutrição de Angico e Canafístula sob Calagem e Gessagem/Growth and Nutrition of Angico and Canafístula under Liming and Gypsum. **Brazilian Journal of Forestry and Environment**, 24.

VICENSI, M., MÜLLER, M. M. L., KAWAKAMI, J., NASCIMENTO, R. D., MICHALOVICZ, L., & LOPES, C. (2016). Do Rates and Splitting of Phosphogypsum Applications Influence the Soil and Annual Crops in a No-Tillage Systems. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 40.

VITAL, A. D. F., SANTOS, R. V. D., CAVALCANTE, L. F., & SOUTO, J. S. (2005). Comportamento de atributos químicos de um solo salino-sódico tratado com gesso e fósforo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**.

ZAMBROSI, F. C. B., ALLEONI, L. R. F., & CAIRES, E. F. (2007). Aplicação de gesso agrícola e especiação iônica da solução de um Latossolo sob sistema plantio direto. **Ciência Rural**, 37(1), 110-117.

ZANDONÁ, R. R., BEUTLER, A. N., BURG, G. M., FARIAS BARRETO, C., & SCHMIDT, M. R. (2015). Gesso e calcário aumentam a produtividade e amenizam o efeito do déficit hídrico em milho e soja. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, 45(2).

CAPÍTULO III

NUTRIÇÃO E PRODUTIVIDADE DE MILHO (*Zea mays*) EM FUNÇÃO DA APLICAÇÃO DE CALCÁRIO E GESSO EM SUPERFÍCIE

RESUMO

A prática da aplicação de calcário e gesso sobre a superfície e sem incorporação é discutida em virtude da sua eficiência em promover correções nas camadas subsuperficiais do solo, e conseqüentemente, contribuir para a promoção do crescimento e desenvolvimento das culturas. Este estudo foi desenvolvido com o objetivo de avaliar o efeito das doses de calcário e gesso na nutrição e produtividade de plantas de milho sob sistema de semeadura direta. O experimento foi realizado em um Latossolo Amarelo distrófico, textura média, em Terra Alta (PA), no período de 2010 a 2012. Os tratamentos foram dispostos em blocos casualizados em parcelas subdivididas, com três repetições, tiveram aplicação de cinco doses de calcário (0, 1, 2, 3, 4) t ha⁻¹, com e sem gesso agrícola (0, 500, 1000) kg ha⁻¹. Foi cultivado após a aplicação dos tratamentos milho no período de 2010 a 2012. A amostragem foliar foi realizada por ocasião do início da formação da inflorescência feminina, coletando-se dez folhas maduras por parcela; separou-se os grãos de milho da espiga para ser realizada a produtividade da cultura por área. A aplicação de doses de calcário associado ou não com gesso, promoveu aumento nos teores de Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺ e P no tecido foliar nos anos avaliados, demonstrando o efeito positivo da aplicação dos corretivos e disponibilização dos nutrientes. Houve aumento linear na produtividade de grãos em função da aplicação das doses combinadas, ou não, de calcário e gesso ao longo dos anos avaliados. Contudo, o incremento proporcionado pelas doses de calcário foi responsável pelo aumento mais pronunciado, quando comparado com as doses de gesso.

Palavras-chave: Nutrição mineral, produtividade de grãos, semeadura direta.

ABSTRACT

The practice of applying limestone and plaster on the surface and without incorporation, the virtue of its own effectiveness in promoting corrections in the subsurface layers of the soil, and consequently, contribute to a promotion of the growth and development of the cultures. The objective was to evaluate the effect of calcium and gypsum doses on the nutrition and production of corn plants under the no - tillage system. The experiment was carried out in a dystrophic Yellow Latosol, medium texture, in Terra Alta (PA), from 2010 to 2013. The treatments, arranged in randomized blocks, in plots with three replicates, proved in their own series of five doses of calcium (0, 1, 2, 3, 4) t ha⁻¹, with and without gypsum (0, 500, 1000) kg ha⁻¹. It was cultivated after an application of corn treatments (2010/2013). A foliar sampling was performed at the beginning of the formation of the female inflorescence from leaflet collection per plot and was separated from the corn kernels of the ear to produce the area. An application of limestone doses associated or not with gypsum, promoting in our levels of Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺ and P non - foliar tissues of the exercises, demonstrating the positive effect of the application of correctives and availability of nutrients. In terms of maize production, it was observed an increase in grain yield due to the application of combined or non - limestone doses of limestone and gypsum over the evaluated years.

Key words: Mineral nutrition, grain production, direct seeding.

INTRODUÇÃO

O potencial produtivo das culturas tem sido afetado em função da degradação do solo, proporcionada pela forma de uso, devido à problemas relacionados a acidez e erosão. Com o objetivo de reduzir os danos causados por sistemas convencionais, o sistema de semeadura direta (SSD) se apresenta como uma alternativa cada vez mais utilizada pelos agricultores, sendo utilizado em cerca de 117 milhões de hectares no mundo (FILHO *et al.*, 2015), o qual traz benefícios relacionados à conservação das características físicas, químicas e biológicas do solo (GUARESCHI *et al.*, 2012; MOREIRA *et al.*, 2014).

A condição ácida do solo é responsável direta por limitar a produção agrícola no país e em diversas regiões do mundo. O caráter ácido, predominante na maior parte dos solos brasileiro, os quais apresentam elevados teores de Al^{3+} (CUNHA; ALMEIDA; BARBOZA, 2014), provoca reduções a reduzidas nas produções em função da toxidez causada por alumínio e manganês e, da reduzida concentração de bases trocáveis na CTC do solo (MA; FURUKAWA, 2003). Nesses solos é imprescindível ser realizada a correção desses atributos para o adequado desenvolvimento das culturas. A calagem é a prática utilizada com mais frequência para ser feita as correções com o objetivo de neutralizar as condições ácidas, elevar o conteúdo de nutrientes, reduzir as concentrações de elementos tóxicos (ABRACAL; 2015; CAIRES *et al.*, 2002), contribuindo, de maneira geral, para a melhoria do ambiente radicular e promover maior produção agrícola.

Contudo, problemas na eficiência de correção da acidez, em função da baixa taxa de mobilidade do calcário após a aplicação superficial em semeadura direta, faz com que a camada inferior do solo apresente teor de nutrientes baixo, elevada saturação por alumínio, ou seja, condições inapropriadas para o desenvolvimento radicular, fator que afeta diretamente o desenvolvimento e produção da cultura (TECCHIO *et al.*, 2006).

Diante do exposto, há a necessidade de melhorar técnicas que venham complementar a ação promovida pela calagem. O gesso agrícola ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$) é utilizado em combinação com o calcário, pois se trata de um condicionador com mobilidade no solo superior, é responsável por adicionar cálcio e enxofre, deslocar cátions básicos para as camadas subsuperficiais do solo através do ânion (SO_4^{2-}) (RAIJ, 2008). Outro benefício promovido por meio da adição do gesso está relacionado à redução

da atividade do alumínio trocável em função da formação de pares iônicos $AlSO_4^-$ (CARVALHO *et al.*, 2013).

Dessa forma, o movimento do gesso no perfil do solo é responsável por proporcionar melhorias nos atributos químicos do solo, as quais podem ser refletidas em melhorias na absorção e produção pelas culturas (CUSTODIO *et al.*, 2005). Trabalhos têm apresentado correlação positiva da aplicação combinada de calcário e gesso no rendimento de grãos das culturas (SORATTO; CRUSCIOL. 2008).

Em experimento realizado em um sistema sem revolvimento do solo com a aplicação superficial do calcário e gesso, CAIRES *et al.* (1998); CAIRES *et al.* (2001); MARTINS *et al.* (2002); VARGAS; MARQUES. (2017); comprovam os benefícios sobre os atributos químicos do solo, tais como o aumento do pH, saturação por bases, assim como os teores de cálcio e magnésio e redução do teor do alumínio trocável do solo. Tais melhorias, proporcionaram aumento nos teores de cálcio e magnésio no tecido foliar e esses efeitos positivos da calagem e gessagem foram refletidos na maior produção de grãos, demonstrando os efeitos positivos relacionados ao uso desses condicionadores.

Nesse contexto, o objetivo foi avaliar o efeito de doses de calcário com e sem gesso na nutrição e produtividade de plantas de milho sob sistema de semeadura direta no Nordeste do Pará.

Material e Métodos

2.1 Caracterização da área experimental

O experimento foi conduzido nos anos de 2010 a 2012 em um Latossolo Amarelo distrófico, textura média (GAMA *et al.*, 2000), no Campo Experimental da Embrapa, localizado no município de Terra Alta, no Nordeste do Pará, sob as coordenadas geográficas de latitude 01°02'28" S e longitude 47°54'27" W, com altitude de 35 metros.

Segundo a classificação de Köppen, o clima predominante na região é do tipo Am, com temperatura média de 26,6 °C e índice pluviométrico médio anual de 2.538 mm, com chuvas concentradas no período de janeiro a abril (CRAVO *et al.*, 2012).

2.2 Delineamento experimental e tratamentos

O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados, com três repetições. Os tratamentos foram dispostos em esquema fatorial 5 x 3 com os seguintes fatores: cinco níveis de calcário (0, 1, 2, 3, 4 t ha⁻¹) e três níveis de gesso (0, 500, 1000 kg ha⁻¹). Utilizou-se calcário dolomítico comercial com 32% de CaO, 15% de MgO e PRNT de 92% e gesso agrícola com composição de 25% de CaO e 14% S. A caracterização química do solo antes da implementação do experimento encontra-se no Quadro 1.

2.3 Histórico da área experimental e condução do experimento

Antes da instalação do experimento a área experimental era uma pastagem degradada. O preparo da área realizado para a implantação do experimento constou da retirada da vegetação herbácea natural por meio de roçagem, seguido por uma aração e duas gradagens, em sentido transversal. A aplicação do calcário dolomítico foi realizada à lanço em toda a extensão das parcelas, colocando-se metade da dose antes da aração e a outra metade foi incorporada na ocasião da segunda gradagem, juntamente com a totalidade da dose de gesso.

Utilizou-se a cultura do milho como planta teste durante os quatro ciclos agrícolas, cuja semeadura foi realizada em linhas de oito metros de comprimento, espaçadas de 70 cm nas entrelinhas, com cinco plantas por metro linear. O preparo do solo com aração e gradagem somente foi realizado antes do primeiro cultivo de milho (2010), sendo realizado a partir de então semeadura direta nos cultivos subsequentes.

Durante todos os ciclos agrícolas efetuou-se a aplicação de adubação básica com NPK, em todas as parcelas experimentais, nas quantidades de 90 kg ha⁻¹ de P₂O₅, 90 kg ha⁻¹ de K₂O e 120 kg ha⁻¹ de N, utilizando-se superfosfato triplo, cloreto de potássio e ureia, respectivamente como fonte de nutrientes, levando em consideração a recomendação do manual de adubação para a cultura. A quantidade total do P foi aplicada em sulco na ocasião do plantio, enquanto que N e K foram aplicados em duas parcelas iguais, sendo a primeira em sulco de plantio e a segunda foi aplicada à lanço, em cobertura, por ocasião da fase V6 da cultura do milho.

Efetuuou-se, ainda, aplicação de micronutrientes em todas as parcelas, utilizando-se FTE BR-12, em quantidade equivalente a 40 kg ha⁻¹. Para a formação da palhada, efetuou-se a subsemeadura de *Urochloa ruziziensis* por ocasião da cobertura da adubação

nitrogenada. O controle de ervas daninhas foi realizado por meio da dessecação da palhada e dos resíduos culturais, com aplicação de 4 L ha⁻¹ de glifosato e 1,8 L ha⁻¹ de herbicida seletivo (DMA), realizada um dia após o plantio do milho.

Para a colheita do milho utilizou como área útil as quatro linhas centrais das parcelas, deixando 80 cm de bordadura em cada. Após a colheita, as espigas foram separadas dos grãos, para a determinação da produtividade em kg ha⁻¹ (EMBRAPA, 2000).

2.5 Amostragem e análises de tecido vegetal

A amostragem foliar foi realizada por ocasião do início da formação da inflorescência feminina a partir da coleta de dez folhas maduras por parcela, retirando-se o terço central de folhas opostas e abaixo da espiga em formação, conforme procedimentos descritos por SARRUGE; HAGGE. (1974). O material coletado foi posto, primeiramente, para secar ao ar e em seguida colocado para secagem em estufa com circulação forçada de ar, em temperatura de aproximadamente 65 °C até atingir peso constante. Em seguida efetuou-se a moagem em moinhos tipo Willey e com peneiras de 0,5 mm de diâmetro, visando assegurar a homogeneização da amostra. Posteriormente procedeu-se a decomposição do tecido vegetal, para a determinação dos teores dos nutrientes (P, K, Ca e Mg) contidos no tecido vegetal, pelo método de via úmida com utilização de solução com ácido nítrico e perclórico (CARMO *et al.*, 2000).

Esses nutrientes foram determinados a partir da transferência de 500 mg de material vegetal seco e moído para um tubo digestor, após esse procedimento foi adicionado 4 mL de ácido nítrico e aquecido até a temperatura de 120 °C até a redução do ácido nítrico, em seguida adicionou-se 2 mL de ácido perclórico a uma temperatura de 180 °C até o momento em que o extrato estiver incolor.

Para a determinação analítica do P foi pipetado 5,0 mL do extrato da solubilização nítrico-perclórico, em seguida foi adicionado 4 mL da mistura das soluções de molibdato e vanadato e após cinco minutos a leitura da amostra foi realizada no espectrômetro a 420 nm de comprimento de onda. A determinação do potássio foi feita a partir do extrato obtido da sua solubilização, o mesmo foi diluído na proporção de 1:9 com água destilada e a partir dessas amostras foi realizada a leitura em fotômetro de chama.

Os procedimentos tomados para a leitura do cálcio e magnésio se deram a partir de 1 mL da solução do extrato obtido após a digestão com 20 mL de água destilada, a

partir dessa amostra foi retirada uma alíquota de 1 mL e transferida para um tubo de ensaio e adicionado 4 mL da solução de lantânio a $1,14\text{g L}^{-1}$, sendo determinado o teor de cálcio e magnésio no espectrômetro de absorção atômica.

2.6 Análise Estatística

Os resultados das variáveis de resposta foram submetidos ao teste de normalidade e posteriormente à análise de variância e, quando houve efeito significativo dos tratamentos realizou-se o teste de comparação de médias para as doses de gesso utilizando-se o teste Scott Knott ($p < 0,05$) e para as doses de calcário utilizou-se análise de regressão.

3. 2 Análise nutricional do milho nos ciclos agrícolas

Houve efeito significativo isoladamente de doses de gesso e de calcário sobre os teores de cálcio e efeito do gesso sobre os teores de magnésio no tecido vegetal das plantas de milho. A adição de gesso ao sistema de cultivo promoveu aumento nos teores de cálcio (Figura 1), porém não houve diferença significativa entre as doses de 500 e 1000 kg ha^{-1} . Por outro lado, a aplicação de calcário (Figura 2) proporcionou aumento linear dos teores de cálcio, à medida que houve aumento das doses aplicadas

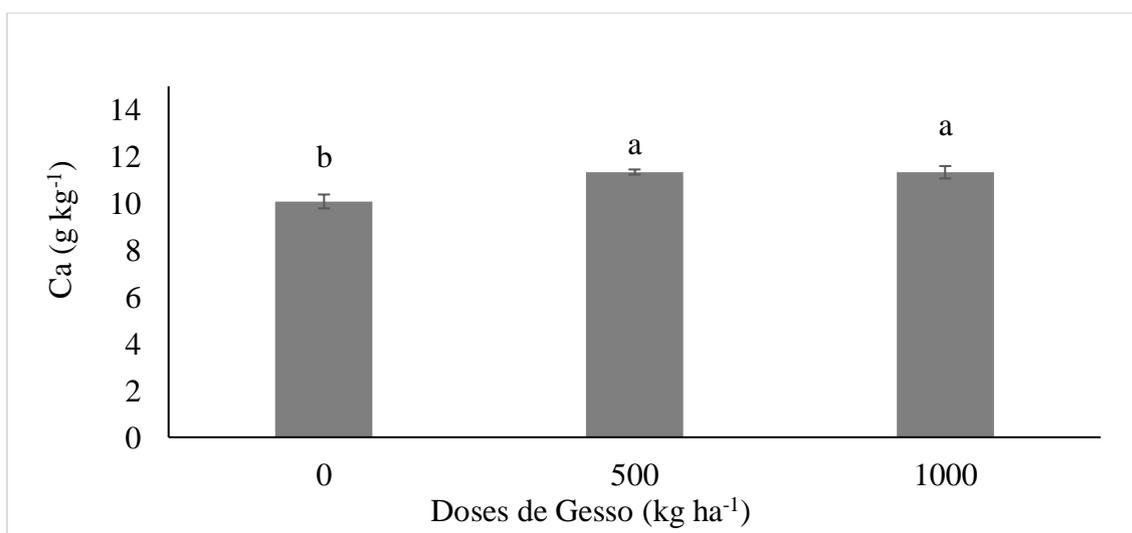


Figura 1: Teor de cálcio em folhas de milho cultivado em Latossolo Amarelo, textura média, de Terra Alta (PA), no primeiro ciclo agrícola (2010), em função da aplicação das doses de gesso.

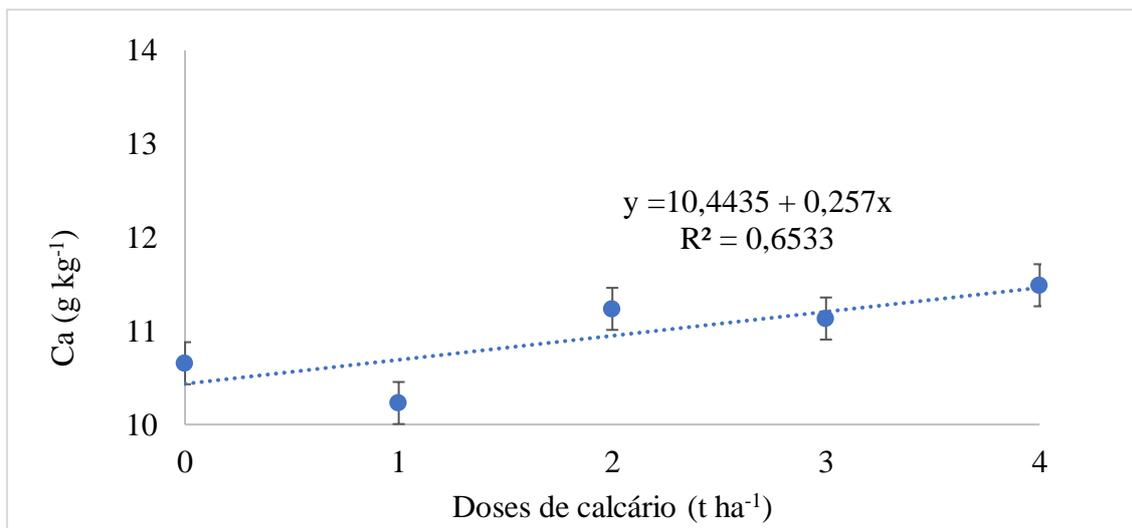


Figura 2: Teor de cálcio em folhas de milho cultivado em Latossolo Amarelo, textura média, de Terra Alta (PA), no primeiro ciclo agrícola (2010), em função da aplicação das doses de calcário.

O mesmo comportamento foi observado para os teores de magnésio no milho (Figura 3), o qual apresentou aumento linear em função das doses de calcário. Resultados semelhantes foram encontrados por CASTRO *et al.* (2016), ao avaliar as concentrações de Ca e Mg nas folhas de soja e milho em um sistema plantio direto após a aplicação de calcário, obtiveram maiores concentrações nesses tratamentos, quando comparados com o tratamento controle. Segundo os autores, esses resultados foram reflexo das maiores concentrações de cálcio e magnésio trocáveis no solo, após a aplicação do calcário.

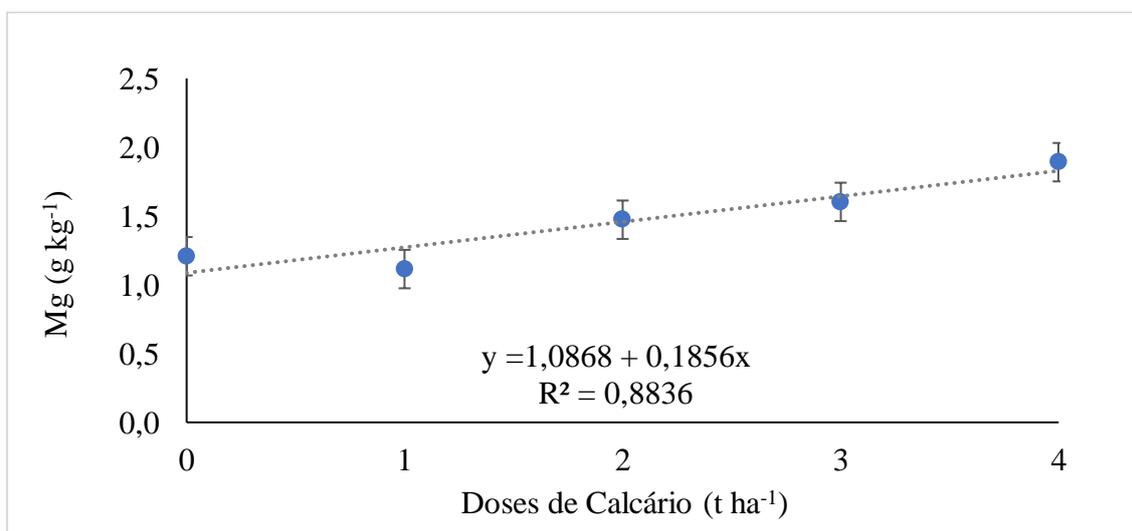


Figura 3: Teores de magnésio em folhas de milho cultivado em Latossolo Amarelo, textura média, de Terra Alta (PA), no primeiro ciclo agrícola (2010), em função da aplicação das doses de calcário.

A aplicação das doses de calcário e gesso foram responsáveis pelo aumento nos teores dos nutrientes encontrados. O aumento linear encontrado nos teores de cálcio e magnésio em função das doses de calcário nas folhas de milho, ocorreram em função das melhorias proporcionadas por esse corretivo no solo. A aumento do pH a partir da neutralização do alumínio trocável e redução da atividade do mesmo feita pelo gesso, fornecimento de Ca^{2+} e Mg^{2+} disponíveis na solução do solo, a partir da sua dissociação, em teores adequados, fez com que a absorção da planta pudesse extrair os nutrientes necessários para o seu desenvolvimento sem sofrer impedimentos.

GELAIN *et al.* (2012), avaliando a aplicação de gesso em um Latossolo Vermelho cultivado com soja sob semeadura direta, não encontraram diferença significativa no teor de cálcio, entretanto o teor de magnésio nas folhas apresentou comportamento linear. CASTRO *et al.* (2012) encontraram redução acentuada nos teores de ambos nutrientes ao ser realizada a aplicação de gesso na cultura da soja e da aveia branca, sendo que os resultados foram justificados pela lixiviação dos nutrientes em decorrência da formação dos pares iônicos na camada superficial do solo.

A variação do teor de P nas folhas, no segundo ano agrícola (2011), apresentou comportamento linear crescente (Figura 4), com maior teor encontrado na dose de quatro toneladas de calcário por hectare. O teor de cálcio sofreu influência positiva das doses de gesso (Figura 5), o qual teve maior conteúdo nas doses de 500 e 1000 kg ha^{-1} quando comparado com o tratamento controle, entretanto não houve diferença significativa entre as doses.

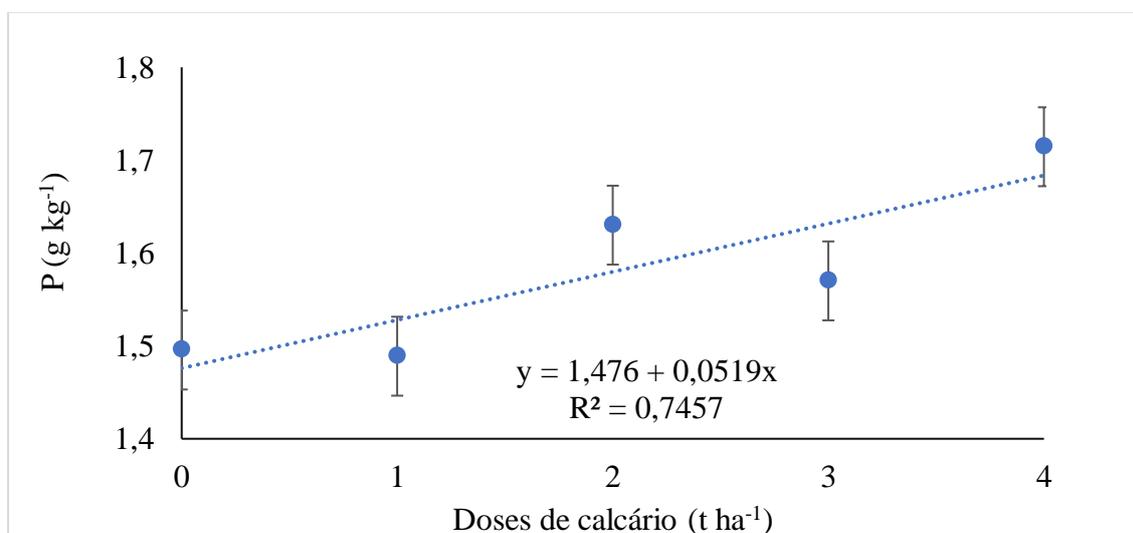


Figura 4: Teores de fósforo em folhas de milho cultivado em Latossolo Amarelo, textura média,

de Terra Alta (PA), no segundo ciclo agrícola (2011), em função da aplicação das doses de calcário.

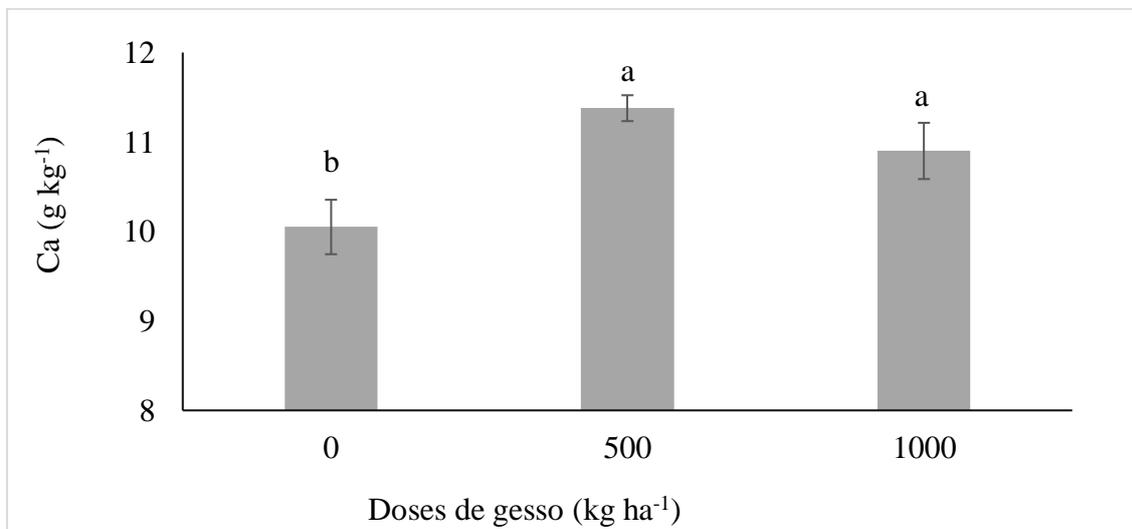


Figura 5: Teores de cálcio em folhas de milho cultivado em Latossolo Amarelo, textura média, de Terra Alta (PA), no segundo ciclo agrícola (2011), em função da aplicação das doses de gesso.

Os teores de magnésio em plantas de milho apresentaram comportamento linear crescente, em função da aplicação de calcário no solo (Figura 6). JORIS *et al.* (2013), em experimento sob sistema de semeadura direta, obtiveram aumento linear dos teores de fósforo, cálcio e magnésio encontrados no tecido foliar de milho após a aplicação de doses de calcário dolomítico. SANTOS *et al.* (2012), avaliando a aplicação de gesso no acúmulo de nutrientes na folha de capim elefante, não encontraram influência desse insumo sobre o acúmulo de magnésio, potássio e enxofre.

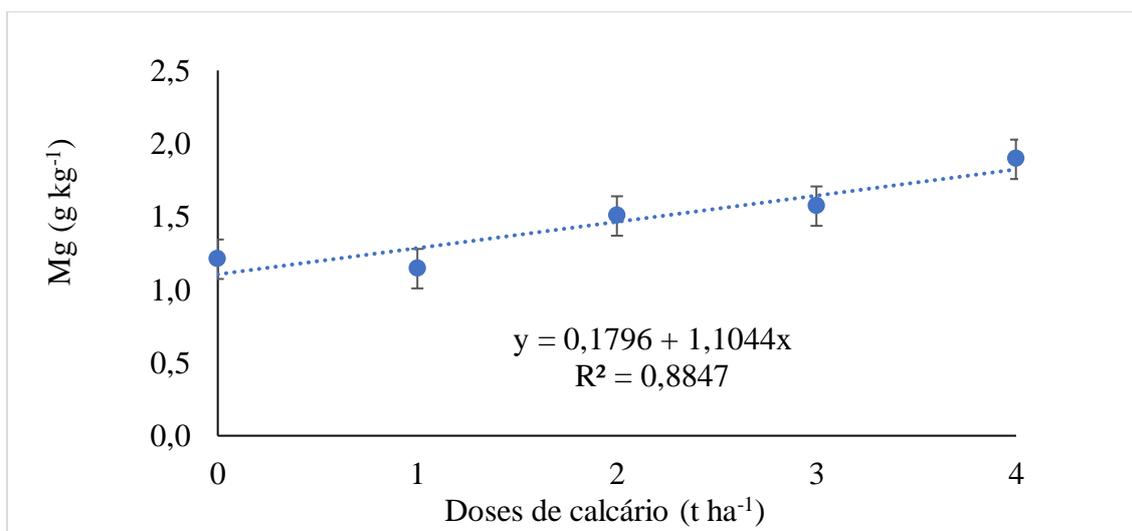


Figura 6: Teores de magnésio em folhas de milho cultivado em Latossolo Amarelo, textura

média, de Terra Alta (PA), no segundo ciclo agrícola (2011), em função da aplicação das doses de calcário.

No ano agrícola de 2012, o fósforo influencia das combinações de gesso e calcário no que diz respeito ao aumento no teor na folha (Figura 7). JUNIOR & COELHO (2008), avaliando o estado nutricional da cana-de-açúcar cultivada sob sistema plantio direto não encontraram diferenças significativas nos teores de nitrogênio e fósforo, sendo relacionados esses benefícios ao fato de as plantas de cobertura terem sido instaladas em conjunto com a cana.

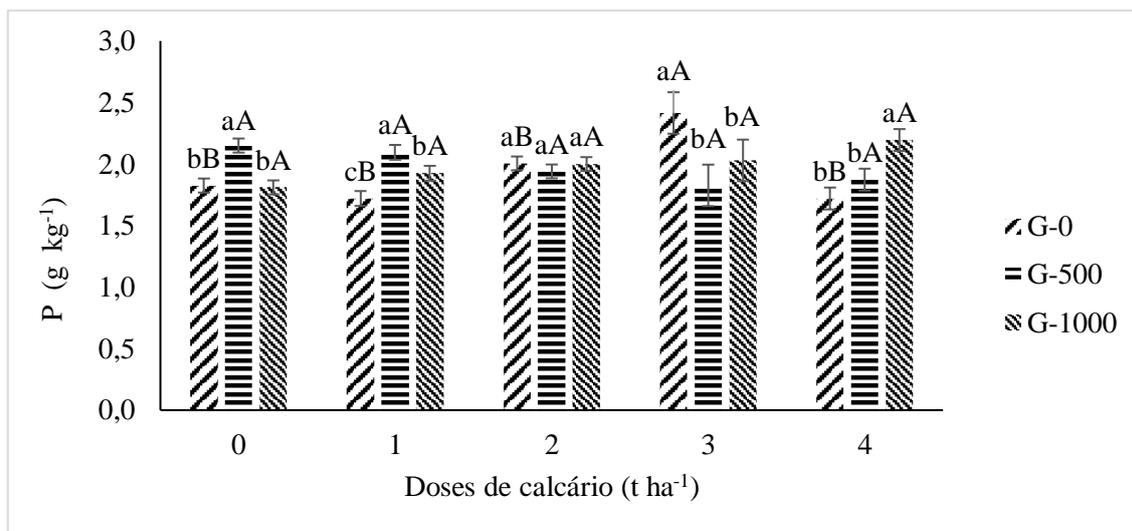


Figura 7: Teores de fósforo em folhas de milho cultivado em Latossolo Amarelo, textura média, de Terra Alta (PA), no terceiro ciclo agrícola (2012), em função da aplicação das doses de calcário. Letras minúsculas comparam as doses de gesso dentro da mesma dose de calcário e letras maiúsculas comparam doses de gesso entre as diferentes doses de calcário, pelo teste Scott Knott ($p < 0,05$).

O teor de potássio no tecido do milho foi influenciado significativamente pelas doses de gesso (Figura 8), verificando-se que todas as doses aplicadas foram superiores, ao tratamento controle (sem gesso), com destaque para a dose de 500 kg ha⁻¹ que apresentou o maior teor de potássio. Esse comportamento pode estar relacionado com o fato do gesso favorecer a lixiviação do K⁺ se aplicado de forma excessiva, ou seja, a partir dos resultados obtidos fica evidenciado que doses maiores que 500 kg ha⁻¹ de gesso são responsáveis por promover movimentação intensa desse cátion para camadas abaixo de 40 cm do solo, ocasionando, possivelmente, deficiência nutricional do mesmo.

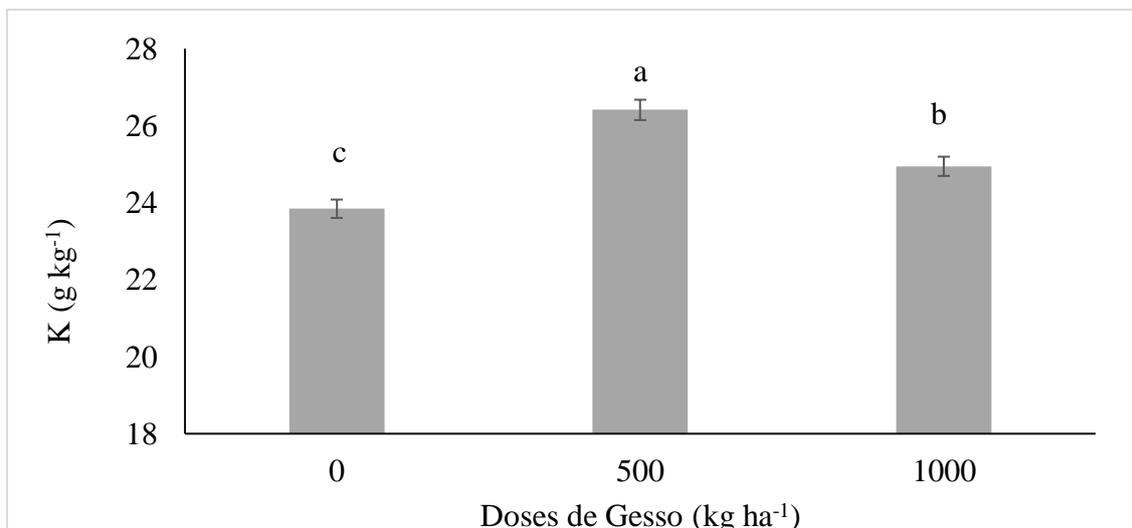


Figura 8: Teores de magnésio em folhas de milho cultivado em Latossolo Amarelo, textura média, de Terra Alta (PA), no terceiro ciclo agrícola (2012), em função da aplicação das doses de gesso.

O teor de cálcio do ano agrícola de 2012 apresentou efeito da interação dupla (Figura 9), se mantendo constante em função das doses de calcário e gesso. O teor de magnésio no tecido do milho apresentou comportamento linear em função da aplicação das doses de calcário e de gesso, no entanto a combinação de calcário com a dose 500 kg ha⁻¹ apresentou redução no teor de Mg com o aumento das doses de calcário (Figura 10).

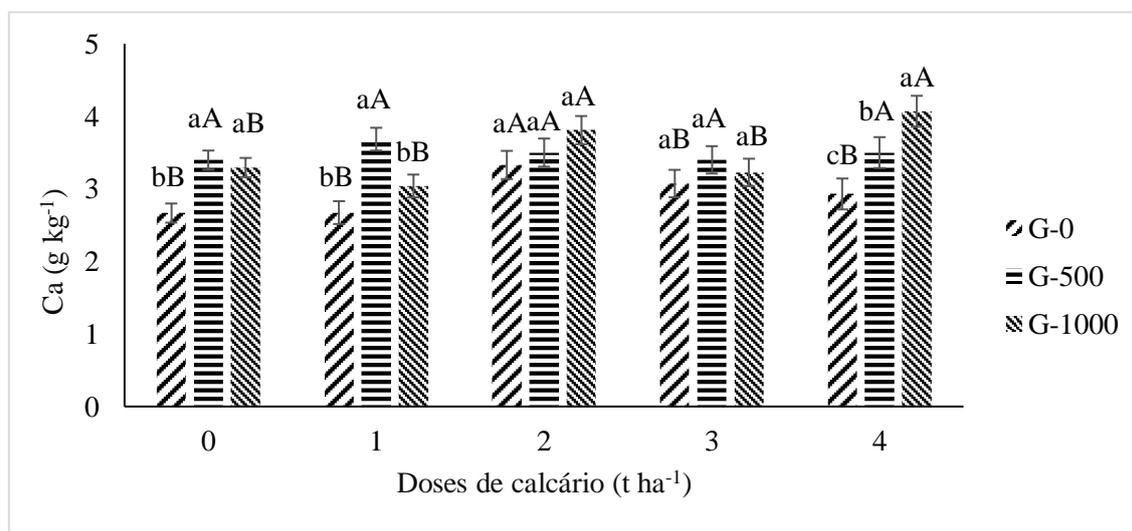


Figura 9: Teores de cálcio em folhas de milho cultivado em Latossolo Amarelo, textura média, de Terra Alta (PA), no terceiro ciclo agrícola (2012), em função da aplicação das doses de calcário e gesso. Letras minúsculas comparam as doses de gesso dentro da mesma dose de calcário e letras maiúsculas comparam doses de gesso entre as diferentes doses de calcário, pelo teste Scott Knott ($p < 0,05$).

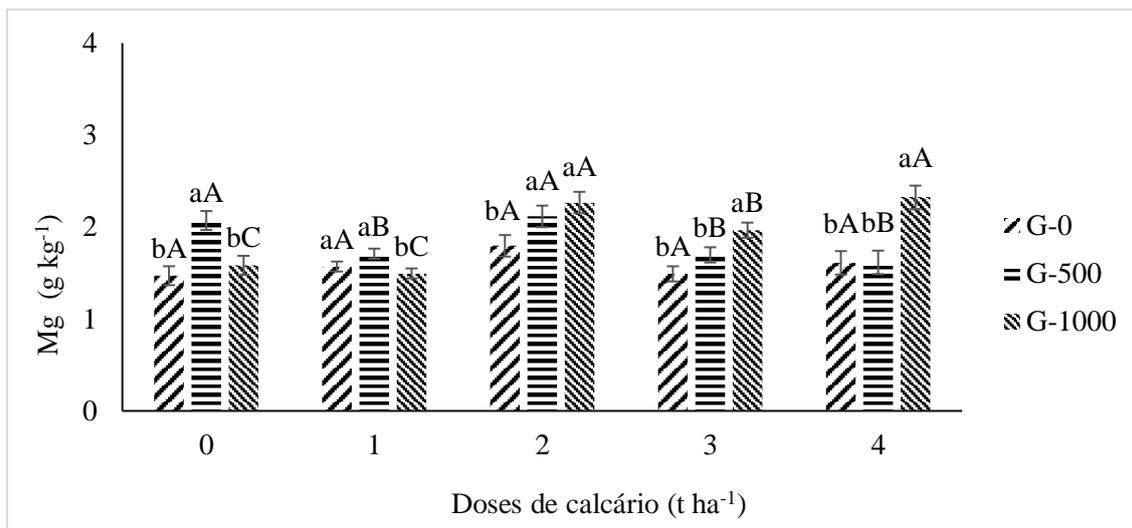


Figura 10: Teores de magnésio em folhas de milho cultivado em Latossolo Amarelo, textura média, de Terra Alta (PA), no terceiro ciclo agrícola (2012), em função da aplicação das doses de calcário e gesso. Letras minúsculas comparam as doses de gesso dentro da mesma dose de calcário e letras maiúsculas comparam doses de gesso entre as diferentes doses de calcário, pelo teste Scott Knott ($p < 0,05$).

Avaliando a aplicação de calcário sem incorporação em citros, SILVA *et al.* (2007) obtiveram aumento nos teores de cálcio e magnésio nas primeiras safras avaliadas em função das melhorias do pH, CTC, complexação do Al trocável e fornecimento desses nutrientes através da calagem. RAMPIM *et al.* (2011), avaliando a resposta da soja e trigo em sistema de semeadura direta, obtiveram efeito linear crescente dos teores de cálcio e de magnésio na folha após a aplicação de gesso, o mesmo comportamento foi verificado após a aplicação de calcário na formação de em um plantio de caramboleiras (NATALE *et al.*, 2008).

3.3 Produtividade de grãos

A produtividade de grãos de milho avaliada no primeiro ano sofreu influência apenas das doses de calcário (Figura 11), tendo comportamento linear crescente. A produtividade teve acréscimo relevante, pois a dose controle apresentou 2439 kg ha⁻¹ enquanto que a maior dose proporcionou acréscimo de 1070 kg, um aumento equivalente a 43,9%, apresentando um total de 3509 kg ha⁻¹. O aumento nos teores dos macronutrientes essenciais para o desenvolvimento da planta na solução do solo, em função do fornecimento de cátions básicos, proporcionaram aumento da absorção dos mesmos, como consequência do estado nutricional adequado, obtivemos reflexos positivos na produtividade de grãos de milho, apresentando aumento a partir das doses de

calcário. Resultados semelhantes foram encontrados por ZANDONÁ *et al.* (2015) em soja e milho após a aplicação de gesso com e sem calcário em um sistema de semeadura direta, sendo relacionado o aumento na produtividade devido o incremento ocorrido no teor de Ca^{2+} , Mg^{2+} , fósforo e redução da saturação por alumínio. CAIRES *et al.* (2008) não encontraram melhoria nos rendimentos de grãos de milho e soja após aplicação de calcário superficial, enquanto que a aplicação do corretivo da mesma forma proporcionou melhorias na produtividade de grãos de trigo, sendo relacionado essa melhoria em virtude do fornecimento de bases e possivelmente o melhor ambiente para crescimento das raízes com possibilidade de maior absorção de nutrientes devido a maior área de abrangência.

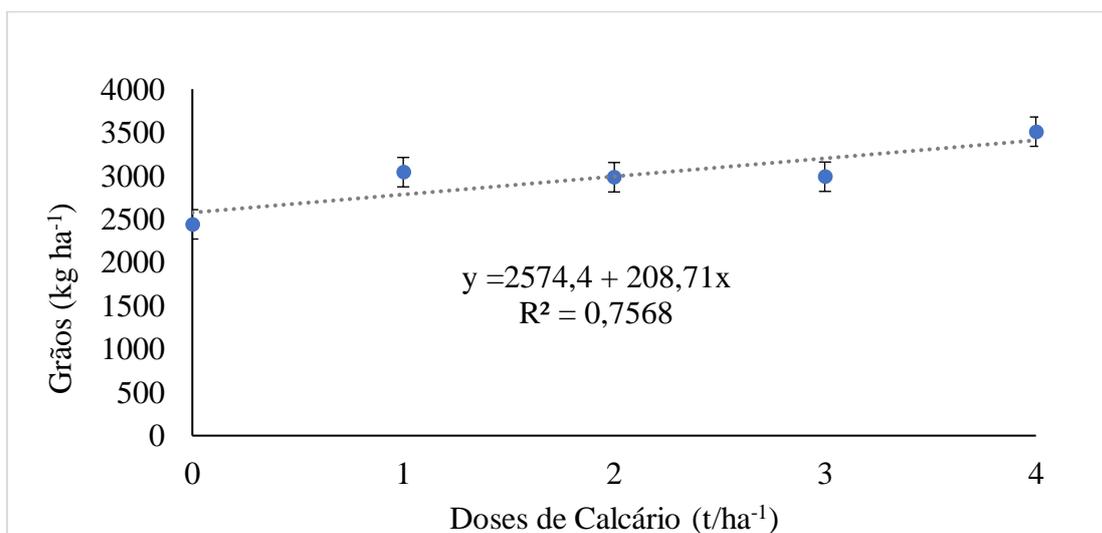


Figura 11: Produtividade de grãos de milho no primeiro ciclo agrícola (2010), em função da aplicação de doses de calcário.

O segundo ano de cultivo (2011) a produtividade de milho apresentou efeito significativo para a interação gesso *versus* calcário (Figura 12), observando-se comportamento linear crescente, em função das doses de calcário e para todos os níveis de gesso avaliados. A dose de 1000 kg ha⁻¹ de gesso proporcionou maior produtividade de grãos de milho, quando comparado com a dose de 500 kg ha⁻¹ de gesso e da testemunha. A combinação do 1000 kg de gesso e quatro toneladas de calcário proporcionou um acréscimo de 1798 kg ha⁻¹ de grãos, em relação à testemunha, correspondendo a um incremento de cerca de 45% na produtividade de grãos.

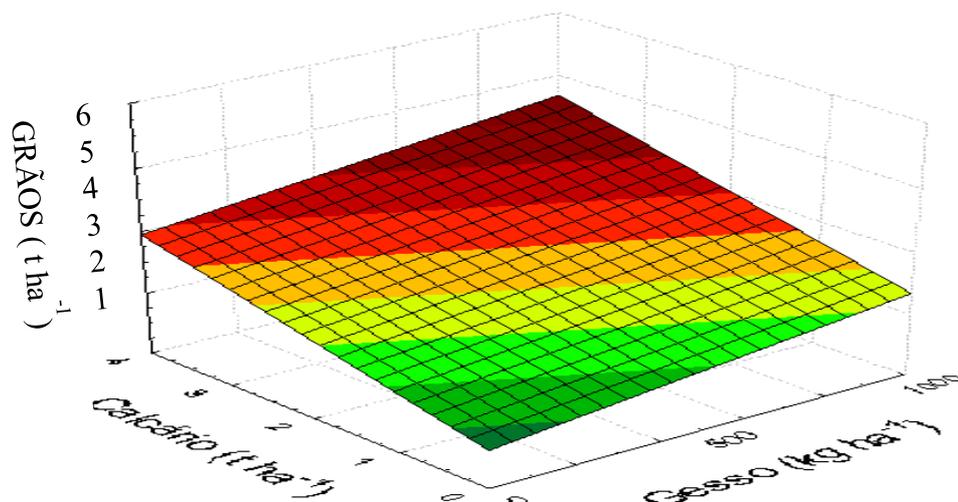


Figura 12: Produtividade de grãos de milho no segundo ciclo agrícola (2011), em função da aplicação de doses de calcário e gesso.

A produtividade de grãos no ano agrícola de 2012 apresentou o mesmo comportamento do ano anterior, exibindo interação entre doses de gesso versus calcário (Figura 13), tendo maior produtividade na combinação 4 t ha^{-1} de calcário com 1000 kg ha^{-1} de gesso devido as melhorias nas condições químicas do solo proporcionadas pelas maiores doses dos condicionantes. A análise da interação demonstra que a combinação entre as doses de gesso e calcário proporcionou maior produtividade de grãos de milho, principalmente quando foi aplicado as maiores doses dos condicionadores.

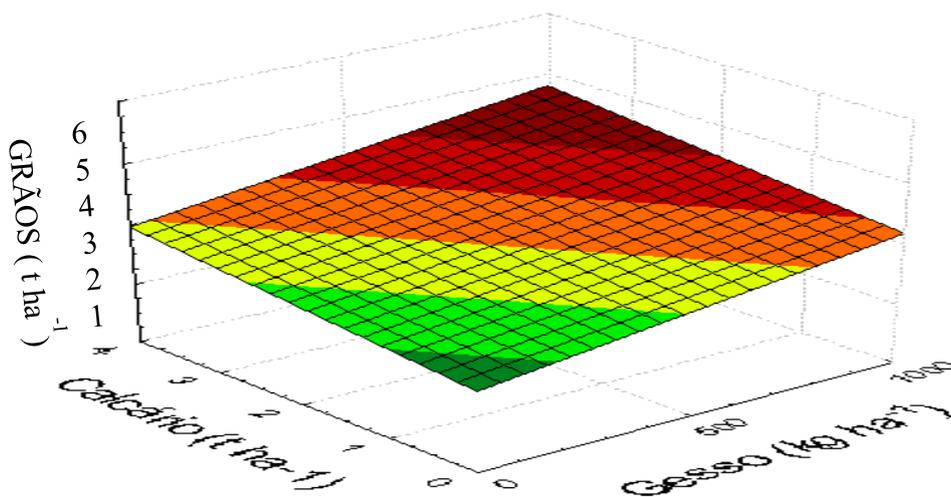


Figura 13: Produtividade de grãos de milho no terceiro ciclo agrícola (2012), em função da aplicação de doses de calcário e gesso.

A aplicação dos níveis de gesso e calcário em todos os anos proporcionou maior produtividade de grãos de milho quando comparado com o tratamento controle e

apresentou aumento ao longo dos anos avaliados, demonstrando efeito residual da aplicação dos corretivos. A melhoria fornecida pelo calcário proporcionou elevação no conteúdo de bases trocáveis, como pôde ser observado a partir dos dados de saturação por bases, redução do alumínio trocável para formas complexadas, os quais contribuíram para que ocorresse aumento da disponibilização e absorção desses nutrientes melhorando dessa maneira as condições para produtividade da cultura do milho.

SILVA *et al.* (2012) avaliando o efeito do calcário aplicado na superfície em sistema plantio direta sob a produtividade de feijão encontraram aumento linear na produtividade. SORATTO *et al.* (2010), avaliando a produtividade de feijão e arroz de terras altas em função da aplicação superficial de calcário e gesso, também, encontraram aumento nessa variável, diferentemente dos resultados encontrados NEIS *et al.* (2009), avaliando a produtividade de soja em sistema de plantio direto com e sem revolvimento obtiveram maior produtividade no sistema sem revolvimento, entretanto não houve influência das doses de gesso, sendo relacionado essa melhoria ao teor de nutrientes adequados encontrado no solo.

3.4 CONCLUSÃO.

- 1.** Os teores dos nutrientes no tecido foliar, avaliados no experimento, foram beneficiados em função da calagem, com ou sem gesso, promovendo maior absorção dos cátions (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ e P) em função do desenvolvimento radicular em ambiente adequado.
- 2.** As doses de calcário e gesso isoladamente promoveram aumento da produtividade de milho em todos os anos avaliados, contudo, as doses de calcário foram as que mais incrementaram a produtividade em comparação ao gesso. A interação de gesso e calcário, nas maiores doses, foram responsáveis pela promoção de maior incremento quando comparados isoladamente.

REFERÊNCIAS

- ABRACAL – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS PRODUTORES DE CALCÁRIO AGRÍCOLA, 2015. Site institucional. Disponível em: <http://www.sindical.com.br/fram_abracal.htm> Acesso em: 19 dezembro 2017.
- CAIRES, E. F., BARTH, G., GARBUIO, F. J., & KUSMAN, M. T. (2002). Correção da acidez do solo, crescimento radicular e nutrição do milho de acordo com a calagem na superfície em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, 26(4).
- CAIRES, E. F., GARBUIO, F. J., CHURKA, S., BARTH, G., & CORRÊA, J. C. L. (2008). Effects of soil acidity amelioration by surface liming on no-till corn, soybean, and wheat root growth and yield. **European Journal of Agronomy**, 28(1), 57-64.
- CASTRO, G. S. A., COSTA CRUSCIOL, C. A., & DE CAMPOS MENEGALE, M. L. (2012). Calagem e silicatagem superficiais e a disponibilidade de cátions hidrossolúveis em culturas anuais e braquiária. **Revista Ciência Agronômica**, 43(4).
- CASTRO, G. S. A., CRUSCIOL, C. A. C., DA COSTA, C. H. M., FERRARI NETO, J., & MANCUSO, M. A. C. (2016). Surface application of limestone and calcium-magnesium silicate in a tropical no-tillage system. **Journal of soil science and plant nutrition**, 16(2), 362-379.
- CUNHA, G. O. M., ALMEIDA, J. A., & BARBOZA, B. B. (2014). Relação entre o alumínio extraível com KCl e oxalato de amônio e a mineralogia da fração argila, em solos ácidos brasileiros. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 38(5).
- CUSTÓDIO, D. P., DE OLIVEIRA, I. P., DE PINHO COSTA, K. A., SANTOS, R. S. M., & FARIA, C. D. (2005). Avaliação do gesso no desenvolvimento e produção do capim-tanzânia. **Ciência Animal Brasileira**, 6(1), 27-34.
- FERNANDES GUARESCHI, R., PEREIRA, M. G., & PERIN, A. (2012). Deposição de resíduos vegetais, matéria orgânica leve, estoques de carbono e nitrogênio e fósforo remanescente sob diferentes sistemas de manejo no cerrado goiano. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 36(3).
- FILHO, O. G, PIRES DA SILVA, A., BALAREZO GIAROLA, N. F., & TORMENA, C. A. (2015). Permeabilidade ao ar da Cama de Semeadura do Solo em SiStema Semeadura direta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 39(3).
- GELAIN, E., ROSA JUNIOR, E. J., MERCANTE, F. M., FORTES, D. G., DE SOUZA, F. R., & ROSA, Y. B. C. J. (2012). Fixação biológica de nitrogênio e teores foliares de nutrientes na soja em função de doses de molibdênio e gesso agrícola. **Embrapa Agropecuária Oeste-Artigo em periódico indexado**.
- JORIS, H. A. W., CAIRES, E. F., BINI, A. R., SCHARR, D. A., & HALISKI, A. (2013). Effects of soil acidity and water stress on corn and soybean performance under a no-till system. **Plant and soil**, 365(1-2), 409-424.
- JUNIOR, D., B., & COELHO, F. C. (2008). A cana-de-açúcar em sistema de plantio direto comparado ao sistema convencional com e sem adubação. **Revista Brasileira de engenharia agrícola e ambiental**, 12(6), 576-584.

MA, J. F., & FURUKAWA, J. (2003). Recent progress in the research of external Al detoxification in higher plants: a minireview. **Journal of inorganic biochemistry**, 97(1), 46-51.

MOREIRA, F. R., FALCI DECHEN, S. C., PIRES DA SILVA, Á., COUTINHO FIGUEIREDO, G., CLERICI DE MARIA, I., & TEREZINHA PESSONI, P. (2014). Intervalo hídrico ótimo em um Latossolo Vermelho cultivado em sistema semeadura direta por 25 anos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 38(1).

NATALE, W., PRADO, R. D. M., ROZANE, D. E., ROMUALDO, L. M., SOUZA, H. A. D., & HERNANDES, A. (2008). Resposta da caramboleira à calagem. **Revista Brasileira de Fruticultura**, 1136-1145.

NEIS, L., BARBOSA PAULINO, H., DAMACENA DE SOUZA, E., FIALHO DOS REIS, E., & ARAÚJO PINTO, F. (2010). Gesso agrícola e rendimento de grãos de soja na região do sudoeste de Goiás. **Revista Brasileira de ciência do Solo**, 34(2).

RAIJ, B. V. (2008). Gesso na agricultura. Instituto Agronomico de Campinas, Campinas, Brasil. This study indicates that in tropical Andisols, soil amendments can be beneficial if caution is used to avoid over-application.

RAMPIM, L., LANA, M. D. C., FRANDOLOSO, J. F., & FONTANIVA, S. (2011). Atributos químicos de solo e resposta do trigo e da soja ao gesso em sistema semeadura direta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 35(5).

SANTOS, R. L., MENDES DE AZEVEDO, V., FREIRE, F. J., TAVARES DA ROCHA, A., ALVES TAVARES, J., & GALVÃO DOS SANTOS FREIRE, M. B. (2012). Extração e eficiência de uso de nutrientes em capim-elefante na presença de gesso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 36(2).

SARRUGE, J., & HAAG, H. (1974). Análises químicas em plantas. Piracicaba, Departamento de Química, ESALQ.

SILVA, M. A. C. D., NATALE, W., PRADO, R. D. M., CORRÊA, M. C. M., STUCHI, E. S., & ANDRIOLI, I. (2007). Aplicação superficial de calcário em pomar de laranja pêra em produção. **Revista Brasileira de Fruticultura**, 606-612.

SILVA, T. R. B., LEMOS, L. B., CRUSCIOL, C. A. C., & FIORENTIN, C. F. (2012). Common bean cultivars response to lime surface application under no tillage system. **Semina: Ciências Agrárias**, 33(4), 1281-1290.

SORATTO, R. P., & CRUSCIOL, C. A. C. (2008). 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**, 32(2).

SORATTO, R. P., CRUSCIOL, C. A. C., & MELLO, F. F. D. C. (2010). Componentes da produção e produtividade de cultivares de arroz e feijão em função de calcário e gesso aplicados na superfície do solo. **Bragantia**, 69(4).

TECCHIO, M. A., PAIOLI-PIRES, E. J., MONTEIRO TERRA, M., GRASSI FILHO, H., CORULLI CORRÊA, J., & YURIKO IDE VIEIRA, C. R. (2006). Tolerância de porta-enxertos de videira cultivados, em solução nutritiva, ao alumínio. **Revista Ceres**, 53(306).

ZANDONÁ, R. R., BEUTLER, A. N., BURG, G. M., FARIAS BARRETO, C., & SCHMIDT, M. R. (2015). Gesso e calcário aumentam a produtividade e amenizam o efeito do déficit hídrico em milho e soja1. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, 45(2)

Apêndice 1: Resumo da análise de variância para os atributos químicos do solo no primeiro ciclo agrícola (2010) em Latossolo Amarelo distrófico, textura média em Terra Alta (PA).

FV	GL	QM							
		pH	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Al ³⁺	P	CTC	V%
GESSO	2	0.08111**	0.61644**	0.91555**	4.63333 ^{ns}	0.03519 ^{ns}	19.83611 ^{ns}	0.587324**	262.117223**
erro 1	4	0.06327	0.03452	0.03072	117.066	0.01094	34.95277	0.022998	9.921057
CALCARIO	4	1.149.556**	0.62634**	2.33642**	29.4377 ^{ns}	0.19305**	30.88888 ^{ns}	0.947464**	719.605690**
erro 2	8	1.389.333	0.02188	0.03686	22.5302	0.005097	31.13055	0.218046	6.018510
PROF	1	0.225778**	10.6090 ^{ns}	23.19529 ^{ns}	19.7432**	1.508028**	33.79466**	22.131521 ^{ns}	5889.68181 ^{ns}
erro 3	2	2.738.778	0.03700	0.02826	50.8222	0.051361	10.85277	0.037641	3.323388
GESSO*CALCARIO	8	0.090778 ^{ns}	0.09745**	0.29595**	14.2828 ^{ns}	0.024639 ^{ns}	38.21805 ^{ns}	0.487461**	121.355748**
erro 4	16	0.054639	0.03402	0.04415	14.4017	0.019243	29.99097	0.062298	16.931411
GESSO*PROF	2	0.906889 ^{ns}	0.09100 ^{ns}	0.24622 ^{ns}	67.4222 ^{ns}	0.007194 ^{ns}	13.66944 ^{ns}	0.413084 ^{ns}	63.287214 ^{ns}
erro 5	4	0.000111	0.02150	0.03929	78.2044	0.011778	33.30277	0.018164	19.240574
CALCARIO*PROF	4	0.230444**	0.33198 ^{ns}	1.39942 ^{ns}	10.4328 ^{ns}	0.129000**	23.09444 ^{ns}	0.396852 ^{ns}	537.421668 ^{ns}
erro 6	8	0.860444	0.04394	0.02131	22.1451	0.010875	31.22777	0.094272	5.085813
GESSO*CALCARIO*PROF	8	0.112889 ^{ns}	0.09388 ^{ns}	0.16450 ^{ns}	20.6357 ^{ns}	0.011500 ^{ns}	33.69027 ^{ns}	0.398198 ^{ns}	48.834598 ^{ns}
erro 7	16	0.023861	0.02671	0.04832	25.3504	0.014577	33.61388	0.085975	8.873534
Total corrigido	89								
CV 1 %		5.10	15.37	9.96	28.45	26.34	79.12	3.41	7.51
CV 2 %		3.40	12.24	10.91	39.47	17.97	74.67	10.49	5.85
CV3 %		6.11	15.91	9.55	13.25	57.05	13.4	4.36	4.34
CV4 %		4.82	15.26	11.94	24.95	34.92	73.29	5.61	9.81
CV5 %		4.86	12.13	11.26	36.76	27.32	77.23	3.03	10.45
CV6 %		2.41	17.34	8.30	43.75	26.25	74.79	6.90	5.37
CV7 %		5.63	13.52	12.49	41.86	30.40	77.59	6.59	7.10

** Significativo a 5% de probabilidade; ^{ns} não significativo

Apêndice 2: Resumo da análise de variância para os atributos químicos do solo no segundo ciclo agrícola (2011) em Latossolo Amarelo distrófico, textura média em Terra Alta (PA).

FV	GL	QM							
		pH	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Al ³⁺	P	CTC	V%
GESSO	2	0.233923 ^{ns}	0.705722**	1.146036**	508.568519**	0.041167**	9.605556**	2.259876**	172.665894**
erro 1	4	0.100479	0.086694	0.065364	57.318519	0.014167	4.144444	0.580430	55.927247
CALCARIO	4	2.161953**	1.181093**	4.577864**	262.150000**	0.612296**	16.270370**	0.859154**	834.418479**
erro 2	8	0.148341	0.096051	0.104720	26.186111	0.022602	1.942593	0.297142	25.801724
PROF	1	2.059256 ^{ns}	18.915167**	23.265459**	935.140741 ^{ns}	1.726056 ^{ns}	1736.005556**	45.392627 ^{ns}	1837.104134**
erro 3	2	0.072012	0.175556	0.224570	12.474074	0.020806	4.011111	0.022671	73.600187
GESSO*CALCARIO	8	0.216664**	0.623731**	1.159675**	167.390278**	0.122532**	32.552315**	1.568031**	226.766067**
erro 4	16	0.126803	0.097065	0.200322	14.918056	0.015880	2.632870	0.365784	20.895409
GESSO*PROF	2	0.036523 ^{ns}	0.020222 ^{ns}	0.274236 ^{ns}	72.224074 ^{ns}	0.011389 ^{ns}	27.511111 ^{ns}	0.459207 ^{ns}	116.344367 ^{ns}
erro 5	4	0.006045	0.075278	0.149106	41.090741	0.007014	1.600000	0.242336	19.607581
CALCARIO*PROF	4	0.145886 ^{ns}	0.192204**	0.827611**	62.538889 ^{ns}	0.038532 ^{ns}	24.653704**	0.350201 ^{ns}	129.751738**
erro 6	8	0.027141	0.018391	0.097167	10.191667	0.009463	0.930093	0.391461	14.562809
GESSO*CALCARIO*PROF	8	0.017430 ^{ns}	0.066947 ^{ns}	0.188410 ^{ns}	68.566667 ^{ns}	0.012060 ^{ns}	35.464815 ^{ns}	0.768129 ^{ns}	38.272425 ^{ns}
erro 7	16	0.048340	0.048277	0.157826	28.785076	0.016942	3.162636	0.273637	26.804931
Total corrigido	89								
CV 1 %		5.99	19.76	12.51	26.48	31.60	31.75	12.77	21.58
CV 2 %		7.28	20.80	15.83	17.89	39.91	21.74	9.14	14.66
CV3 %		5.07	28.12	23.18	12.35	38.29	31.24	2.52	24.75
CV4 %		6.73	20.91	21.89	13.51	33.46	25.31	10.14	13.19
CV5 %		1.47	18.41	18.89	22.42	22.23	19.73	8.25	12.78
CV6 %		3.11	9.10	15.25	11.16	25.83	15.04	10.49	11.01
CV7 %		4.15	14.75	19.43	18.76	34.56	27.74	8.77	14.94

** Significativo a 5% de probabilidade; ^{ns} não significativo

Apêndice 3: Resumo da análise de variância para os atributos químicos do solo no terceiro ciclo agrícola (2012) em Latossolo Amarelo distrófico, textura média em Terra Alta (PA).

FV	GL	QM							
		pH	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Al ³⁺	P	CTC	V%
GESSO	2	0.468667 ^{ns}	30.883852**	2.590685**	123.524074**	0.942019 ^{ns}	14.410667**	1.138963**	295.537216**
erro 1	4	0.127667	23.760741	0.657380	385.640741	0.252019	79.369556	2.003386	36.609449
CALCARIO	4	4.009185**	20.073889**	36.907704**	83.487963 ^{ns}	1.008333**	125.893259**	5.442815**	11348.713638**
erro 2	8	0.061630	3.832444	0.383509	90.135185	0.161028	18.865481	0.556349	99.884855
PROF	1	0.170425 ^{ns}	31.012242 ^{ns}	11.575121 ^{ns}	450.767471 ^{ns}	0.527805**	117.865816 ^{ns}	5.225534 ^{ns}	2173.763974 ^{ns}
erro 3	2	0.107630	7.382750	0.878548	39.401978	0.444949	4.237460	0.618192	183.558022
GESSO*CALCARIO	8	0.296630 ^{ns}	5.671167**	1.000315**	52.343519 ^{ns}	0.010167 ^{ns}	35.064093**	1.159206**	146.441557**
erro 4	16	0.075907	3.847639	0.432183	103.244907	0.087944	30.456315	0.944033	91.773717
GESSO*PROF	2	0.027258 ^{ns}	72.224074 ^{ns}	0.323213 ^{ns}	20.226534 ^{ns}	0.160313 ^{ns}	21.832382 ^{ns}	0.822109 ^{ns}	44.237093 ^{ns}
erro 5	4	0.024651	41.090741	0.360751	52.312279	0.202157	5.204862	0.513931	60.460974
CALCARIO*PROF	4	0.057878 ^{ns}	4.922642 ^{ns}	0.890982 ^{ns}	39.073395 ^{ns}	0.196051**	25.000567 ^{ns}	1.738385 ^{ns}	183.897090 ^{ns}
erro 6	8	0.027141	0.018391	0.097167	23.241404	0.134457	0.930093	0.078966	14.562809
GESSO*CALCARIO*PROF	8	0.021418 ^{ns}	0.066947 ^{ns}	0.324629 ^{ns}	33.713042 ^{ns}	0.166513 ^{ns}	6.561468 ^{ns}	0.379581 ^{ns}	43.827419 ^{ns}
erro 7	16	0.065060	1.757093	0.311417	52.758549	0.149509	13.245874	0.342868	98.850786
Total corrigido	89								
CV 1 %		6.51	24.83	30.79	9.52	16.35	12.56	28.22	11.70
CV 2 %		4.52	9.73	23.51	46.18	6.30	59.75	14.87	19.33
CV3 %		5.98	13.84	35.59	30.53	15.45	28.32	15.68	26.21
CV4 %		5.02	9.93	24.96	49.42	6.87	65.92	19.37	18.53
CV5 %		2.86	22.37	22.81	35.18	10.4	31.39	14.29	15.04
CV6 %		10.40	16.44	27.46	23.45	8.49	29.43	5.60	14.72
CV7 %		4.65	67.53	21.19	35.33	8.96	50.07	11.68	19.23

** Significativo a 5% de probabilidade; ^{ns} não significativo

Apêndice 4: Resumo da análise de variância para os teores de nutrientes nas folhas do milho no primeiro ciclo agrícola (2010) em Latossolo Amarelo distrófico, textura média em Terra Alta (PA).

FV	GL	QM				
		N	P	K	Ca	Mg
Gesso	2	2.176807 ^{ns}	0.121769 ^{ns}	0.275722 ^{ns}	8.640667**	0.173269 ^{ns}
Calcário	4	3.578267 ^{ns}	0.148297 ^{ns}	0.245142 ^{ns}	2.718250**	0.762126**
Gesso* Calcário	8	5.509932 ^{ns}	0.098113 ^{ns}	0.356847 ^{ns}	1.098375**	0.130086 ^{ns}
Erro	28					
Total corrigido	44					
CV %		8.69	15.41	6.26	9.71	21.69

** Significativo a 5% de probabilidade; ^{ns} não significativo

Apêndice 5: Resumo da análise de variância para os teores de nutrientes nas folhas do milho no segundo ciclo agrícola (2011) em Latossolo Amarelo distrófico, textura média em Terra Alta (PA).

FV	GL	QM				
		N	P	K	Ca	Mg
Gesso	2	9.769342 ^{ns}	0.100062 ^{ns}	0.024991 ^{ns}	9.844222**	0.146062 ^{ns}
Calcário	4	5.262591 ^{ns}	0.183794**	0.576836 ^{ns}	1.877694 ^{ns}	0.821159**
Gesso* Calcário	8	6.061239 ^{ns}	0.072184 ^{ns}	1.364031 ^{ns}	1.825819 ^{ns}	0.078754 ^{ns}
Erro	28					
Total corrigido	44					
CV %		7.37	14.49	5.40	8.80	19.54

** Significativo a 5% de probabilidade; ^{ns} não significativo

Apêndice 6: Resumo da análise de variância para os teores de nutrientes nas folhas do milho no terceiro ciclo agrícola (2012) em Latossolo Amarelo distrófico, textura média em Terra Alta (PA).

FV	GL	QM				
		N	P	K	Ca	Mg
Gesso	2	1.033807 ^{ns}	0.086442**	24.894249**	0.715642**	0.930829**
Calcário	4	1.465581 ^{ns}	0.054770**	9.957981 ^{ns}	0.855720**	0.493836**
Gesso* Calcário	8	1.179176 ^{ns}	0.231695**	8.220263 ^{ns}	0.507170**	0.610229**
Erro	28					
Total corrigido	44					
CV %		6.52	15.59	9.91	12.54	19.79

** Significativo a 5% de probabilidade; ^{ns} não significativo

Apêndice 7: Resumo da análise de variância para a produtividade de grãos de milho no primeiro ciclo agrícola (2010) em Latossolo Amarelo distrófico, textura média em Terra Alta (PA).

FV	GL	QM
		Grãos
Gesso	2	84589.958729 ^{ns}
Calcário	4	1294999.925141**
Gesso* Calcário	8	123493.104059 ^{ns}
Erro	28	
Total corrigido	44	
CV %		21.95

** Significativo a 5% de probabilidade; ^{ns} não significativo

Apêndice 8: Resumo da análise de variância para a produtividade de grãos de milho no segundo ciclo agrícola (2011) em Latossolo Amarelo distrófico, textura média em Terra Alta (PA).

FV	GL	QM
		Grãos
Gesso	2	2137474.610069**
Calcário	4	3132891.468258**
Gesso* Calcário	8	518548.544499**
Erro	28	
Total corrigido	44	
CV %		9.25

** Significativo a 5% de probabilidade; ^{ns} não significativo

Apêndice 9: Resumo da análise de variância para a produtividade de grãos de milho no terceiro ciclo agrícola (2012) em Latossolo Amarelo distrófico, textura média em Terra Alta (PA).

FV	GL	QM
		Grãos
Gesso	2	3618992.262309**
Calcário	4	1513467.751136**
Gesso* Calcário	8	706055.282359**
Erro	28	
Total corrigido	44	
CV %		10.24

** Significativo a 5% de probabilidade; ^{ns} não significativo