



## Incubação de calcário finamente moído e características químicas do solo sob cultivo de soja e milho

Anderson LANGE<sup>1\*</sup>, Mauro José ZAMBIASI JÚNIOR<sup>1</sup>, Edilson CAVALI<sup>2</sup>,  
Cassiano Spaziani PEREIRA<sup>1</sup>, Onã da Silva FREDDI<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto de Ciências Agrárias e Ambientais, Universidade Federal de Mato Grosso, Sinop, MT, Brasil.

<sup>2</sup>Instituto de Defesa Agropecuária, Matupá, MT, Brasil.

\*E-mail: [paranalange@hotmail.com](mailto:paranalange@hotmail.com)

(ORCID: 0000-0002-2518-1915; 0000-0001-9923-7136; 0000-0003-0824-0861; 0000-0002-2001-697X; 0000-0002-1617-6954)

Submetido em 15/07/2022; Aceito em 05/12/2022; Publicado em 20/12/2022.

**RESUMO:** Estudou-se as modificações químicas no solo e o comportamento da soja e do milho decorrente da aplicação de doses de calcário calcítico e dolomítico finamente moído. O experimento ocorreu em vasos de 10 dm<sup>3</sup> em esquema fatorial 2x4 com quatro repetições, cujos tratamentos consistiram em dois calcários (calcítico e dolomítico) e quatro doses: 0,0; 3,0; 6,0; 9,0 t ha<sup>-1</sup>. O solo foi incubado e amostrado aos 90, 200 e 300 dias. Aos 90 dias de incubação semeou-se a soja e colhida no final do ciclo. Em sequência semeou-se o milho, o qual também foi colhido. Os resultados mostraram que as doses crescentes de calcário influenciaram todas as variáveis do solo e das plantas com efeito linear ou quadrático; os teores de cálcio, magnésio, suas saturações na CTC e a relação Ca:Mg foram afetadas em função do maior teor de cada nutriente no respectivo corretivo e a aplicação de calcário finamente moído elevou saturação de bases para valores próximos do valor calculado nas menores doses, não chegando ao valor desejado apenas na dose de 9,0 t ha<sup>-1</sup>, atingindo o pico de reação aos 90 dias, decaindo a partir desta data

**Palavras-chave:** incubação; calcário; reatividade; PRNT.

## Incubation of finely ground limestone and soil chemical characteristics under cultivation of soy and corn

**ABSTRACT:** The chemical changes in the soil and the behavior of soybean and corn resulting from the application of doses of finely ground calcitic and dolomitic limestone were studied. The experiment was carried out in 10 dm<sup>3</sup> pots in a 2x4 factorial scheme with four replications, whose treatments consisted of two limestones (calcitic and dolomitic) and four doses: 0.0; 3.0; 6.0; 9.0 t ha<sup>-1</sup>. The soil was incubated and sampled at 90, 200 and 300 days. At 90 days of incubation, the soybean was sown and harvested at the end of the cycle. Next, corn was sown, which was also harvested. The results showed that the increasing doses of lime influenced all soil and plant variables with a linear or quadratic effect; the levels of calcium, magnesium, their CEC saturations and the Ca:Mg ratio were affected due to the higher content of each nutrient in the respective corrective and the application of finely ground limestone increased base saturation to values close to the value calculated at the lowest doses, not reaching the desired value only at the dose of 9.0 t ha<sup>-1</sup>, reaching the reaction peak at 90 days, decreasing from this date.

**Keywords:** incubation; limestone; reactivity; PRNT.

### 1. INTRODUÇÃO

A produtividade das culturas agrícolas do Cerrado é limitada por praticamente todos os atributos químicos do solo, determinados na análise, como acidez excessiva, deficiência dos nutrientes P (fósforo), K (potássio), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e micronutrientes, além da toxidez por Al (alumínio), e a aplicação de corretivos da acidez é imprescindível para que os fertilizantes aplicados entreguem respostas (MALAVOLTA, 1989). Os corretivos podem ser escolhidos conforme seus teores de cátions acompanhantes (Ca e Mg) ou pela granulometria, o que se traduz no seu poder de neutralização.

No norte de Mato Grosso estão disponíveis o calcário calcítico com teor médio de MgO de < de 5% e CaO 40%, o calcário dolomítico com teor médio de MgO de 20% e CaO 28% e o magnesiano com teor médio de MgO de 11% e CaO 37%. Segundo a literatura, a taxa de reatividade é calculada em relação a porcentagem do corretivo que reage em um período de 3 meses. Partículas de 0,84 a 2,00 mm tem apenas

20% de reação em 3 meses, deixando assim um efeito residual; no tamanho entre 0,30 a 0,84 mm a reação em 3 meses é de cerca de 60%. Partículas menores que 0,30 mm reagem totalmente em um período de 3 meses (ALCARDE; RODELLA, 2003). Além deste fator, o tempo de reação está condicionado ainda a existência de umidade disponível no solo, contato corretivo-solo, entre outros.

Segundo Natale; Coutinho (1994) partículas maiores que 2,0 mm foram ineficientes para elevar a saturação por bases; partículas menores que 2,0 mm já tiveram efeitos significativos na saturação por bases e; partículas menores que 0,3 mm reagiram mais rápido do que partículas mais grosseiras, mas tiveram seu efeito superado pelas partículas retidas nas peneiras 0,6 e 0,3 mm ao final de 30 meses.

Gonçalves et al. (2011), trabalhando com duas granulometrias e sistemas de preparo de solo avaliados aos 12, 24 e 36 meses após a aplicação, verificaram efeito da granulometria apenas no preparo convencional aos 24 meses, com aumento dos teores de cálcio e na saturação por bases

(V%) até 10 cm de profundidade, remetendo a ideia de que o não contato do corretivo-solo em semeadura direta não aumenta a reação do calcário fino. Em estudo de diferentes solos e granulometrias do corretivo, Rodrighero et al. (2015) verificaram após um ano, efeito do calcário apenas na camada de 0-5 cm, com diferença para as granulometrias, gerando efeito corretivo e alterando o pH, Ca, Mg e V%.

Com relação à dose e ao calcário utilizado, Gallo et al. (1956) estudando solos com 3,63 e 0,87 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> de Ca e Mg, respectivamente, aplicaram as doses para elevar a saturação por bases à 70% ou o dobro da dose recomendada para V 70%. Os autores verificaram que a soja se desenvolveu melhor ao usar calcário dolomítico versus calcítico, e que ao dobrar a dose, o desenvolvimento foi ainda melhor.

Clarck et al. (1997) verificaram redução nas concentrações de Ca, P e Mn da parte aérea do milho, quando houve o aumento de Mg no solo, decorrente do uso de calcário dolomítico, verificando ainda maiores acúmulos de massa radicular e aérea nas relações superiores a 10:01 de Ca:Mg. Munoz Hernandez; Silveira (1998) verificaram que em solos com relação Ca:Mg maior 03:01, há redução no crescimento e queda na produção da gramínea decorrente do antagonismo que o Ca causa na absorção de Mg. Nolla; Anghinoni (2006) ao cultivarem a soja com doses crescentes de calcário, verificaram incrementos em todos os parâmetros das plantas decorrentes do aumento das doses.

O objetivo do trabalho foi determinar o efeito de doses de calcário calcítico e dolomítico sobre os atributos químicos do solo e na produtividade de plantas de soja e milho.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi instalado em casa de vegetação no setor do Viveiro, da UFMT Sinop – MT. O solo utilizado foi classificado como Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico (LvAd), coletado em subsolo (10-30 cm de profundidade), em área de mata, na região de Sinop – MT. As características químicas do solo, antes da instalação do experimento foram as seguintes: pH = 4,37; P = 0,63 mg dm<sup>-3</sup>; K = 32,0 mg dm<sup>-3</sup>; Ca = 0,31 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; Mg = 0,27 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; Al = 0,7 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; H+Al = 9,18 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; CTC = 9,83 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; V = 6,69% e 510 g kg<sup>-1</sup> de argila.

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado (DIC) em esquema fatorial 2x4, sendo dois calcários tipo filler (calcítico e dolomítico) e quatro doses (0,0; 3,0; 6,0; e 9,0 t ha<sup>-1</sup>), com quatro repetições. As repetições eram constituídas por vasos plásticos com 10,0 dm<sup>3</sup> de solo, cuja umidade foi mantida próxima da capacidade de campo, através de pesagens diárias do conjunto vaso-planta. O solo foi peneirado em peneira de 4,00 mm e incubado com a fração menor que 0,3 mm com calcário calcítico (46% de CaO e 3% de MgO) de PRNT de 90% e com dolomítico (29% de CaO e 19% de MgO) de PRNT de 99%. Para se obter o calcário, o mesmo foi macerado em cadinho de porcelana e passado em peneira de 0,3 mm até se conseguir um volume suficiente para o estudo.

O calcário foi adicionado ao solo no dia 15/04/2015, o qual foi irrigado semanalmente. Aos 90 dias o solo dos vasos foi amostrado (1ª amostragem), retirando-se quatro furos por vaso para compor uma amostra (repetição), e determinou-se o pH em água, P, K, Ca, Mg, H+Al. Após este procedimento, o solo ficou em repouso nos vasos.

Em 18/10/2015 o solo voltou a ser irrigado e em 21/10 foi semeada a soja, cultivar TMG 132, de ciclo normal, com cinco sementes por vaso. Em V3 realizou-se o desbaste, deixando

apenas três plantas por vaso. Antes da semeadura, realizou-se a adubação de base por vaso, quando os fertilizantes foram distribuídos por vaso e homogeneizado em todo o volume. A adubação foi feita utilizando uma formulação comercial MAP (51% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 9% de N), visando atingir a concentração de 250 mg dm<sup>-3</sup> de P. A aplicação dos micronutrientes foi com diluição em água e posterior distribuição no solo nas concentrações de; Boro 0,5 mg dm<sup>-3</sup>, Manganês 4 mg dm<sup>-3</sup>, Cobre 1,5 mg dm<sup>-3</sup> e Zinco 5 mg dm<sup>-3</sup>. A adubação de cobertura foi feita utilizando a mesma metodologia dos micronutrientes, com cloreto de potássio e a ureia, parcelados em 3 aplicações até 45 dias, visando atingir de 250 mg dm<sup>-3</sup> de potássio e nitrogênio finais, respectivamente (MALAVOLTA, 1980).

O tratamento das sementes de soja foi realizado com a aplicação, inoculante, cobalto, molibdênio e inseticida a base de fipronil. O controle de pragas e doenças foi realizado conforme a necessidade da cultura.

Em 10/02/2016, a soja foi colhida e avaliou-se: altura de plantas, diâmetro do caule, massa seca da parte aérea, massa seca de raiz, massa seca total, número de vagens por planta, número de grãos por planta, relação parte aérea:raiz, massa de 1000 grãos (estimada com subamostras de 50 grãos cada), produção de grãos e a concentração de P, K, Ca, Mg na matéria seca da parte aérea da planta, sem os grãos. O solo foi amostrado seguindo mesmo procedimento anterior, contabilizando nesta data ~200 dias do início da incubação (2ª amostragem). Após a amostragem os vasos foram mantidos sem irrigação por um ano.

Em fevereiro de 2017, o solo foi fertilizado com fósforo e novamente irrigado e o milho DKB 290 foi semeado, com quatro sementes por vaso e desbaste após 15 dias, conduzindo-se duas plantas durante a avaliação. As sementes receberam tratamento industrial e o controle de pragas e doenças foi realizado conforme a necessidade da cultura. A fertilização para o milho foi similar a soja, apenas com aumento da dose de N para 300 mg dm<sup>-3</sup>. Devido a haver duas plantas por vaso, quando as plantas iniciaram o florescimento e emitiram os primórdios das espigas, elas começaram a morrer, possivelmente pelo espaço diminuto dos vasos, então optou-se por colhê-las. Para o milho avaliou-se massa seca da raiz, massa da parte aérea, massa seca total, número de nós por planta, número de folhas, diâmetro do colmo, comprimento do colmo, altura da planta e altura de inserção do primórdio da espiguetta. Após a colheita das plantas o solo foi amostrado e analisado (3ª amostragem), finalizando o estudo com aproximadamente 300 dias de incubação de solo úmido, descontando o período de repouso dos vasos (sem irrigação).

Os dados obtidos foram analisados estatisticamente no programa estatístico SISVAR® (FERREIRA, 2011), sendo submetido a análise de variância pelo teste F a 5% de probabilidade, sendo comparados os efeitos dos calcários pelo teste de Tukey (p < 0,05) e as doses por regressão polinomial, e a interação entre fontes e doses de calcários foram desdobradas em função das doses.

## 3. RESULTADOS

### 3.1. Atributos Químicos do Solo

Houve efeito das doses de calcário para todas as variáveis analisadas no solo e interação significativa entre o corretivo e as doses para os teores de Ca e Mg (cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>) e sua % na CTC, como também para a relação Ca:Mg (Tabela 1). Em relação aos corretivos, os valores absolutos de Ca, sua saturação na CTC e a relação Ca:Mg se mostraram superiores

com o uso de calcário calcítico, já os valores de Mg e sua saturação na CTC foram superiores com dolomítico, resultado da composição dos corretivos, decorrentes do maior teor de Ca ou Mg nos insumos.

O pH manteve comportamento linear nas três épocas de amostragem em função das doses. Os valores de pH foram máximos aos 90 dias para a maior dose, próximo a 6,0, caindo para 5,5 e ~4,8 na última amostragem, após o cultivo do milho (Figura 1). Para as interações significativas, os valores de Ca e sua saturação na CTC (% de Ca na CTC) foram máximos no solo para o uso de calcário calcítico na 1ª amostragem (Figura 1 e 2). O Ca em valor absoluto atingiu 7,0 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> (saturação próxima a 80% na CTC) decaindo para próximo de 5,0 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> na 2ª amostragem, sendo superior ao dolomítico e ao final do cultivo, na 3ª avaliação, já não havia diferença para os corretivos quanto ao teor de Ca no solo, decorrente do consumo de Ca pelas plantas e da maior reação do calcário dolomítico ao final do período. Este resultado pode ser verificado nos teores de Ca das plantas de soja (Figura 3), que ao serem cultivadas em solo rico em Ca, tiveram seus valores quase que dobrados, como se observa para a dose 6 t ha<sup>-1</sup>, em que as plantas apresentaram mais que

12 g kg<sup>-1</sup> de Ca quando do uso de calcário calcítico e 6 g kg<sup>-1</sup> de Ca para dolomítico na matéria seca, evidenciando a maior extração de Ca do solo. Apesar das plantas de milho não terem sido analisadas quimicamente, é de se esperar que as mesmas também tenham tido comportamento similar, extraindo mais Ca na presença de calcário calcítico, o que igualou os teores de Ca no solo ao final, para os corretivos.

Os teores de Mg foram alterados com a aplicação de calcário dolomítico, com maiores concentrações de Mg e % na CTC para as três amostragens e a extração pelas culturas não chegou a reduzir significativamente os teores no solo ao ponto de igualar as leituras de Mg dos calcários. A saturação por bases apresentou comportamento linear para as doses, sem efeito isolado de cada calcário (Figura 2), similar ao efeito do pH. Isso se deve à similaridade granulométrica dos mesmos e também ao seu PRNT próximo. Observa-se que o V% máximo atingido foi de ~85, aos 90 dias, decaindo após o cultivo da soja para ~70 e após o milho para 45, ajustando-se ao comportamento de Ca e Mg, que também foram exauridos ao longo dos cultivos. A relação Ca:Mg foi alterada apenas pela aplicação de calcário calcítico, e permaneceu significativa para as três amostragens, com valores de até 6:1.

Tabela 1. Valores médios de pH, hidrogênio mais alumínio (H+Al), cálcio (Ca), magnésio (Mg), saturação por bases (V%), % de cálcio na CTC (Ca<sub>CTC</sub>), % de Mg na CTC (Mg<sub>CTC</sub>) e relação Ca:Mg, aos 90, 200 e 300 dias (1ª, 2ª e 3ª coleta, respectivamente) após a aplicação de doses de calcário calcítico e dolomítico finamente moído ao solo.

Table 1. Mean values of pH, hydrogen plus aluminum (H+Al), calcium (Ca), magnesium (Mg), base saturation (V%), % calcium in CTC (Ca<sub>CTC</sub>), % Mg in CTC (Mg<sub>CTC</sub>) and Ca:Mg ratio at 90, 200 and 300 days (1st, 2nd and 3rd collection, respectively) after application of doses of finely ground calcitic and dolomitic limestone to the soil.

	pH			H + Al (Cmolc dm <sup>-3</sup> )			Ca (cmolc dm <sup>-3</sup> )			Mg (cmolc dm <sup>-3</sup> )		
	1ª col	2ª col	3ª col	1ª col	2ª col	3ª col	1ª col	2ª col	3ª col	1ª col	2ª col	3ª col
<b>Corretivos</b>												
Calcítico	5,21	4,79	4,28	3,21	4,32	7,6	3,59 a	2,34 a	2,25	0,76 b	0,35 b	0,61 b
Dolomítico	5,29	4,71	4,53	3,28	4,72	7,4	2,04 b	1,34 b	1,81	2,20 a	1,32 a	1,36 a
<b>Análise estatística</b>												
Corretivos	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*	*	ns	*	*	*
Doses	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
C x D	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*	*	ns	*	*	*
	V%			%Ca			%Mg			Ca:Mg		
	1ª col	2ª col	3ª col	1ª col	2ª col	3ª col	1ª col	2ª col	3ª col	1ª col	2ª col	3ª col
<b>Corretivos</b>												
Calcítico	54,1	37,0	30,9	43,6 a	31,2 a	20,3	9,8 b	4,9 b	5,5 b	4,31 a	6,25 a	3,79 a
Dolomítico	53,6	34,8	31,6	25,7 b	17,1 b	16,3	27,1 a	16,8 a	12,1 a	1,00 b	1,00 b	1,54 b
<b>Análise estatística</b>												
Corretivos	ns	ns	ns	*	*	ns	*	*	*	*	*	*
Doses	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
C x D	ns	ns	ns	*	*	ns	*	*	*	*	*	*

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si a 5% pelo teste de Scott Knott; \*: significativo a 5% pelo teste de regressão; ns: não significativo. C= corretivos; D=doses (0,3,6,9 t ha<sup>-1</sup>).

### 3.1.1. Soja

Nas plantas de soja houve efeito do corretivo para o maior acúmulo de massa radicular (MSR), com destaque para o calcário dolomítico em relação ao calcítico, com diferença de 4,3 gramas por planta (Tabela 2), o que ocasionou maior concentração de Mg na parte aérea (5,77 g kg<sup>-1</sup>) e consequente acúmulo neste tratamento. Assim como o sistema radicular, a massa de mil grãos (M1000) apresentou comportamento linear para as doses, com um aumento de 25 g entre a ausência do corretivo e a maior dose. Para a concentração de Ca e Mg na matéria seca das plantas se observou interação entre os corretivos e as doses aplicadas, havendo aumento de Ca no tecido para ambos os calcários e no caso do Mg, apenas o uso de calcário dolomítico aumentou a concentração do nutriente. As doses crescentes

dos corretivos influenciaram todas as variáveis analisadas nas plantas de soja, com ajustes lineares ou quadráticos.

### 3.1.2. Milho

As plantas de milho tiveram a massa seca da parte aérea, a massa seca total, o diâmetro de colmo e a altura da planta maiores ao se utilizar calcário dolomítico em relação a correção com calcítico, havendo ainda efeito quadrático das doses para todas as variáveis analisadas, exceto para o comprimento do colmo, em que o efeito foi linear (Tabela 3), e interação para a altura de inserção das espiguetas, com destaque para o calcário dolomítico (Figura 4). As plantas cultivadas em solo corrigido com calcário dolomítico mostraram um incremento de ~ 12 g na massa seca da parte aérea, 5 g no sistema radicular e por consequência, 17 g de massa total a mais quando comparadas as cultivadas sob

calcário calcítico. Este efeito ocorreu porque o solo original era deficiente em magnésio ( $0,27 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ) e a aplicação de calcário calcítico, mesmo em alta dose não foi suficiente para elevar o teor do nutriente no solo, tanto que o aumento de Mg no solo foi significativo apenas na 1ª amostragem (Figura 1). Então a presença de Mg em maior quantidade no calcário dolomítico favoreceu a planta, tornando-a mais alta, com maior número de folhas por planta, apesar de não significativo, o que favoreceu o acúmulo de massa. Como pode se observar o valor de Mg no solo previamente ao

cultivo do milho era  $0,35 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  nos vasos corrigidos com calcário calcítico (Tabela 1), contra  $1,32 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  de Mg nos vasos corrigidos com dolomítico, o que certamente causou deficiência deste elemento no milho para o cultivo com calcítico. Outrossim, o cultivo de soja extraiu a pequena reserva de Mg do solo, levando os teores a menos que  $0,5 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  nos vasos corrigidos com calcário calcítico, logo após a colheita da soja e também no final do ciclo do milho (Figura 1). Salienta-se que no cultivo da soja este efeito não apareceu, pois as reservas eram maiores.

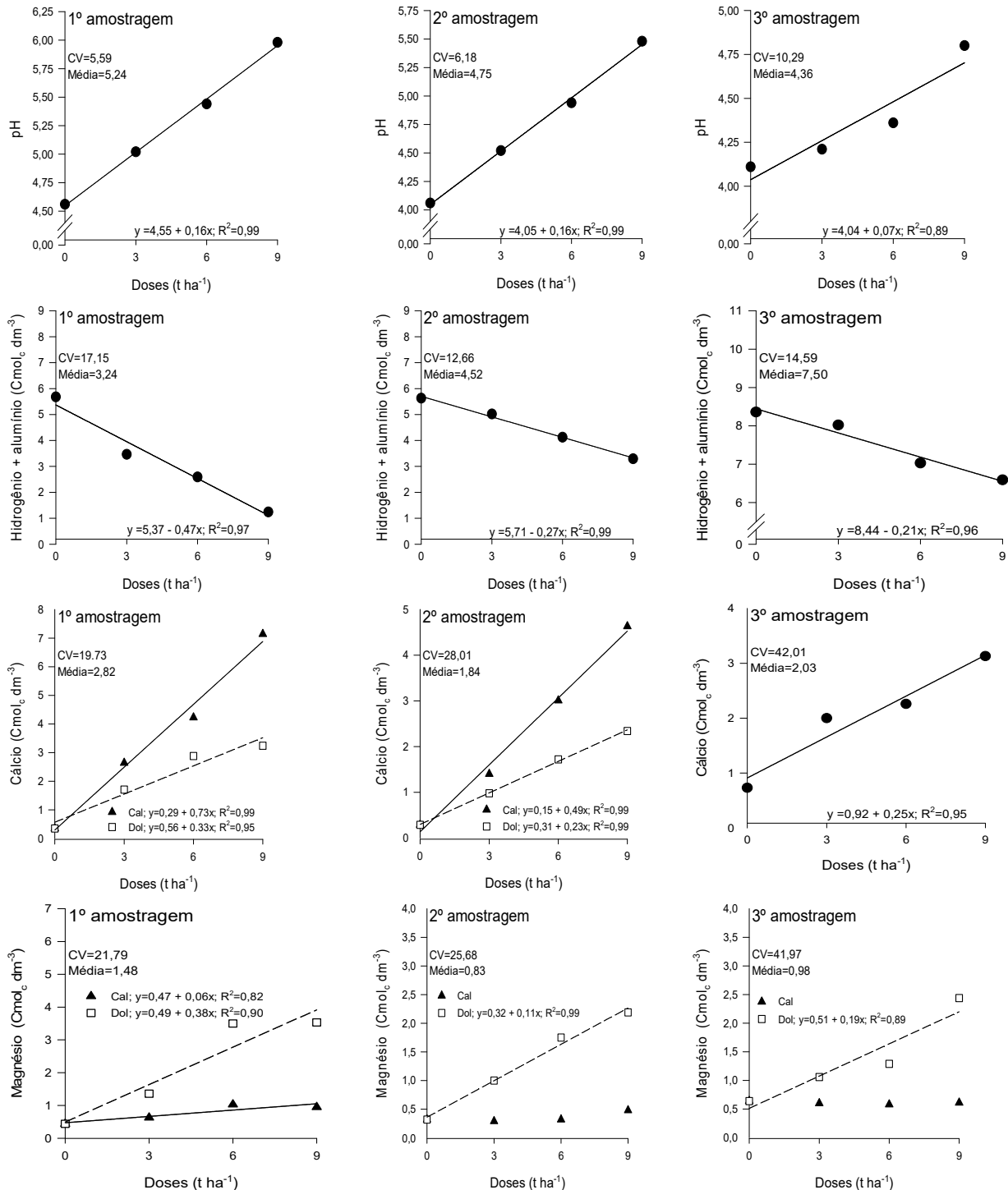


Figura 1. Valores médios de pH, hidrogênio mais alumínio (H+Al), cálcio (Ca) e magnésio (Mg), aos 90, 200 e 300 dias (1ª, 2ª e 3ª coleta, respectivamente) após a aplicação de doses de calcário calcítico e dolomítico finamente moído ao solo.

Figure 1. Mean values of pH, hydrogen plus aluminum (H+Al), calcium (Ca) and magnesium (Mg), at 90, 200 and 300 days (1st, 2nd and 3rd collection, respectively) after application of doses of finely ground calcitic and dolomitic limestone to the ground.

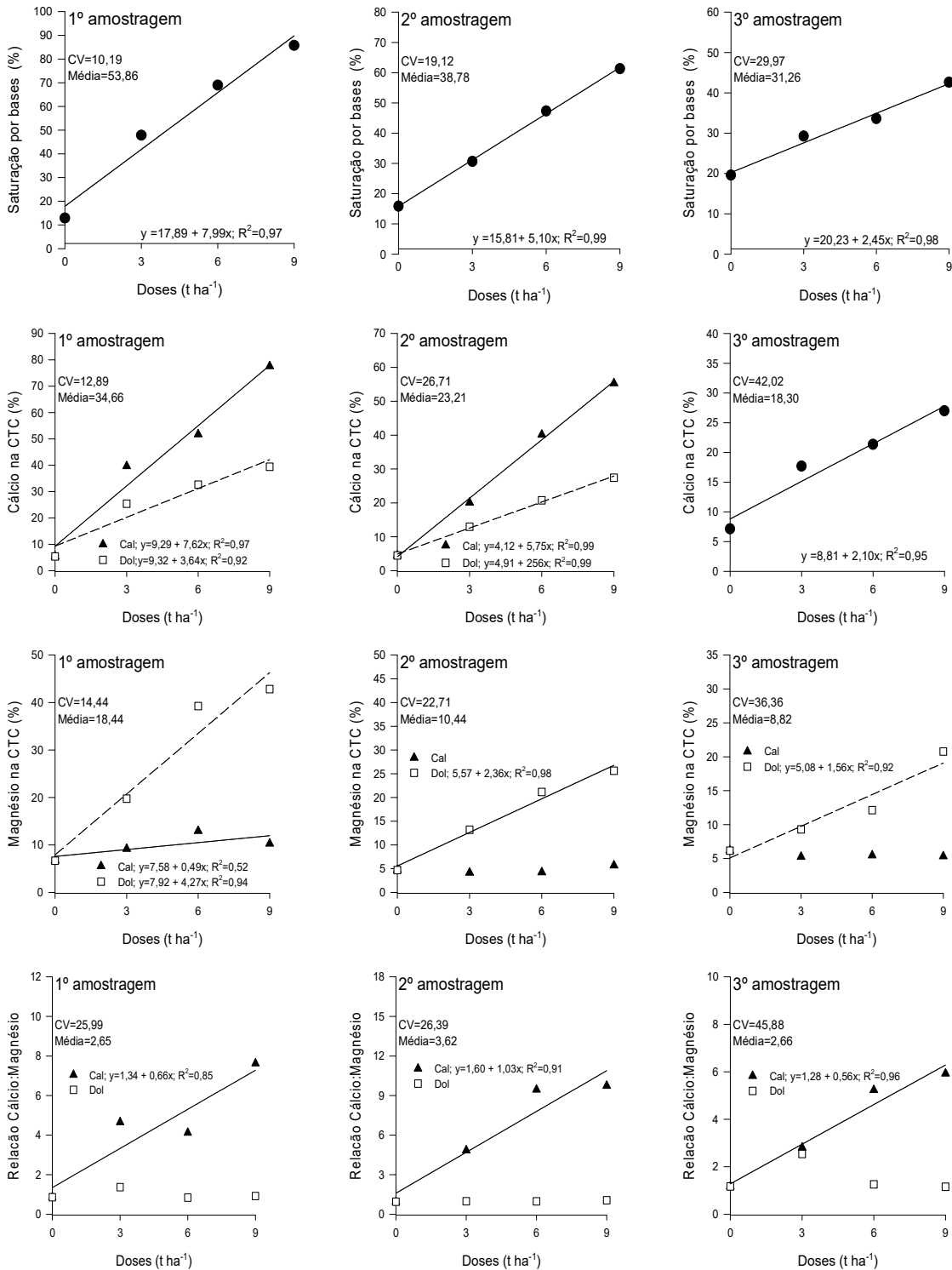


Figura 2. Valores médios de saturação por bases (V%), % de cálcio na CTC ( $Ca_{CTC}$ ), % de Mg na CTC ( $Mg_{CTC}$ ) e relação Ca:Mg aos 90, 200 e 300 dias (1ª, 2ª e 3ª coleta, respectivamente) após a aplicação de doses de calcário calcítico e dolomítico finamente moído ao solo.  
 Figure 2. Mean values of base saturation (V%), % of calcium in CTC ( $Ca_{CTC}$ ), % of Mg in CTC ( $Mg_{CTC}$ ) and Ca:Mg ratio at 90, 200 and 300 days (1st, 2nd and 3rd collection, respectively) after application of finely ground calcitic and dolomitic limestone doses to the soil.

**4. DISCUSSÃO**

Os aumentos nos teores de Ca e Mg no solo eram esperados, já que estes nutrientes foram diretamente aplicados via calagem. Os valores de P e K e a saturação por K na CTC não foram significativos em nenhuma amostragem, por isso não foram apresentados. Caires et al. (2005) em trabalho semelhante verificaram efeitos da calagem

aplicado ao solo, em campo, para pH, Al e cátions básicos até 20 cm de profundidade, com efeito consistente após 10 anos da calagem, variando doses.

O pH, os teores de H+Al e o V% não foram diferentes para ambos os corretivos, ficando claro que ambos têm a mesma capacidade de correção da acidez e de preencher a CTC com os elementos Ca e Mg, o que se deve a mesma

origem geológica do material, com presença significativa de  $\text{CaCO}_3$  nestes corretivos, como documentado por Kurihara et al. (1999), que não encontraram diferença no pH do solo, ao avaliarem calcário calcítico e dolomítico e diferentes granulometrias.

Os valores de pH foram máximos no início da incubação, o que está de acordo com o trabalho de Corrêa et al. (2018)

e Kurihara et al. (1999), que avaliaram o tempo de reação para diferentes partículas de calcário e verificaram maior reação nos primeiros meses da aplicação. Maraschin et al (2020) trabalhando com doses de calcário dolomítico, similar ao utilizado neste estudo em relação as % de Ca e Mg e PRNT, observaram comportamento exponencial para as doses de até  $20 \text{ t ha}^{-1}$ , após a incubação para pH, Ca, Mg e V%.

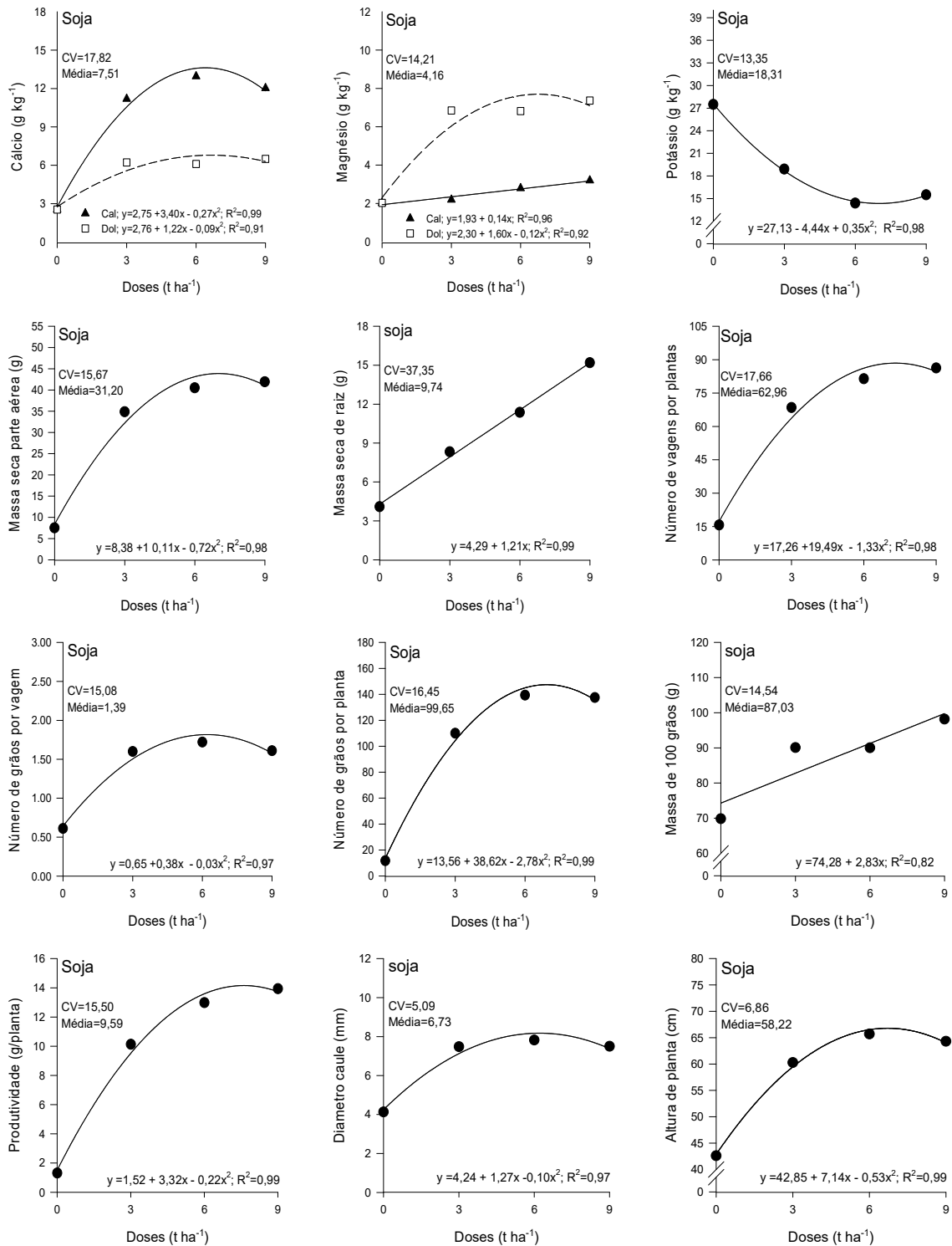


Figura 3. Valores médios de massa seca da parte aérea (MSA), massa seca da raiz (MSR), número de grãos por planta (NGP), número de grãos por vagem (NGV), massa de mil grãos (M1000), produção por planta (PRO), diâmetro de caule (DC), altura das plantas (ALT), cálcio (Ca), magnésio (Mg), K (potássio) nas folhas de soja após a aplicação de doses de calcário calcítico e dolomítico finamente moído ao solo. Figure 3. Mean values of shoot dry mass (MSA), root dry mass (MSR), number of grains per plant (NGP), number of grains per pod (NGV), thousand grain mass (M1000), yield per plant (PRO), stem diameter (DC), plant height (ALT), calcium (Ca), magnesium (Mg), K (potassium) in soybean leaves after application of finely ground calcitic and dolomitic limestone to the ground.

Tabela 2. Valores médios de massa seca da parte aérea (MSA), massa seca da raiz (MSR), número de grãos por planta (NGP), número de grãos por vagem (NGV), massa de mil grãos (M1000), produção por planta (PRO), diâmetro de caule (DC), altura das plantas (ALT), cálcio (Ca), magnésio (Mg), K (potássio) nas folhas de soja após a aplicação de doses de calcário calcítico e dolomítico finamente moído ao solo.

Table 2. Mean values of shoot dry mass (MSA), root dry mass (MSR), number of grains per plant (NGP), number of grains per pod (NGV), thousand grain weight (M1000), yield per plant (PRO), stem diameter (DC), plant height (ALT), calcium (Ca), magnesium (Mg), K (potassium) in soybean leaves after application of finely ground calcitic and dolomitic limestone to the ground.

	MSA ----- (g)	MSR -----	NGP	NVP	NGV	M1000 (g)	PRO (g plt <sup>-1</sup> )	DC (mm)	ALT (cm)	Ca ---	Mg MSA(g kg <sup>-1</sup> )	K ---
Corretivos												
Calcítico	31,0	7,6 b	98	60,3	1,8	82,8	9,3	6,7	58,0	6,68 a	2,55 b	18,06
Dolomítico	31,4	11,9 a	100	65,6	1,7	91,3	9,9	6,7	58,4	5,33 b	5,77 a	18,56
Análise estatística												
Corretivos	ns	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*	*	ns
Doses	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
C x D	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*	*	ns

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si a 5% pelo teste de Scott Knott; \*: significativo a 5% pelo teste de regressão; ns: não significativo. C= corretivos; D=doses (0,3,6,9 t ha<sup>-1</sup>).

Tabela 3. Valores médios de massa seca da parte aérea (MSA), massa seca da raiz (MSR), massa seca total (MST), número de nós por planta (NNP), número de folhas por planta (NFP), diâmetro de colmo (DC), altura das plantas (ALT), altura de inserção da espiguetta (AIE) em plantas de milho após a aplicação de calcário calcítico e dolomítico finamente moído ao solo.

Table 3. Mean values of shoot dry mass (MSA), root dry mass (MSR), total dry mass (MST), number of nodes per plant (NNP), number of leaves per plant (NFP), diameter of stalk (DC), plant height (ALT), spikelet insertion height (AIE) in maize plants after application of finely ground calcitic and dolomitic limestone to the soil.

	MSA ----- (g)	MSR -----	MST	NNP	NFP	DC (mm)	CC	ALT ----- (cm)	AIE -----
Corretivos									
Calcítico	32,7 b	10,9	43,5 b	9,9	11,2	10,4 b	10	127 b	44 b
Dolomítico	44,6 a	15,8	60,4 a	10,4	11,7	11,9 a	11	148 a	61 a
Análise estatística									
Corretivos	*	ns	*	ns	ns	*	ns	*	*
Doses	*	*	*	*	*	*	*	*	*
C x D	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si a 5% pelo teste de Scott Knott; \*: significativo a 5% pelo teste de regressão; ns: não significativo. C= corretivos; D=doses (0,3,6,9 t ha<sup>-1</sup>).

A acidificação do solo no decorrer do tempo já era esperada, devido ao uso de fertilizantes nitrogenados principalmente na adubação prévia ao cultivo do milho, fato documentado na literatura (CECAGNO et al., 2019; LANGE et al., 2006). Também o efeito do cultivo, o balanço eletroquímico das plantas, que ao absorverem cátions, acabam eliminando H<sup>+</sup> no meio acidificam o solo (LANGE et al., 2019). Em contrapartida, a variável H+Al apresentou comportamento inverso, com valores tendendo a zero na primeira amostragem, para a maior dose e, ao longo do cultivo os valores aparecerem no complexo de troca.

O teor de Mg significativamente superior no calcário dolomítico durante todo o estudo ocorre porque este apresenta aproximadamente seis vezes mais MgO que o calcítico, em sua composição, além da menor extração deste elemento, como pode se observar na concentração das plantas de soja. A % de saturação de Mg na CTC foi superior a 40% na primeira amostragem para a maior dose de calcário dolomítico, decaindo para 25 e 20 % ao final das avaliações, decorrente do consumo dos nutrientes pelas plantas de soja e de milho cultivadas.

Ao se observar as médias da saturação por bases (V%) para cada dose e corretivo aos 90 dias (Tabela 4), verifica-se V% máximo de 88,5 e 82,9, para calcítico e dolomítico, respectivamente. Estes valores, se comparados ao valor teórico, que poderiam ser obtido pela recomendação [NC=(V2-V1)\*I/PRNT)], são menores. Para o calcítico, o valor obtido é ~7% menor que o calculado para a maior dose e, para o dolomítico é cerca de 20% menor, demonstrando

que o V% estimado normalmente não é atingido, mesmo em condições controladas e com calcário extremamente fino, de alta reação, o que já foi apontado em outros estudos (GUARÇONI; SOBREIRA, 2017; CORRÊA et al. 2018; LANGE et al., 2021).

Para as doses menores, percebe-se que há coerência entre valores determinados e calculados. Maraschin et al. (2020) ao incubar até 20 t ha<sup>-1</sup>, observaram V% máximo de 93, em solo de textura similar. Este comportamento foi também observado com o uso dos mesmos corretivos deste estudo, porém em campo, demonstrando que há a necessidade de uma dose maior que a estimada para que se chegue aos valores desejados (CHAPLA, 2017).

Tabela 4. Valores médios observados e calculados para a saturação por bases (V%), aos 90 dias após a aplicação de doses de calcário calcítico e dolomítico finamente moído ao solo.

Table 4. Mean values observed and calculated for base saturation (V%), at 90 days after application of doses of finely ground calcitic and dolomitic limestone to the soil.

Dose (t ha <sup>-1</sup> )	V% observado	V% calculado calcítico
0	12,9	12,9
3	49,6	40,4
6	65,4	67,8
9	88,5	95,3
Dose (t ha <sup>-1</sup> )	V% observado	V% calculado dolomítico
0	12,9	12,9
3	46,0	43,1
6	72,6	73,3
9	82,9	103,5

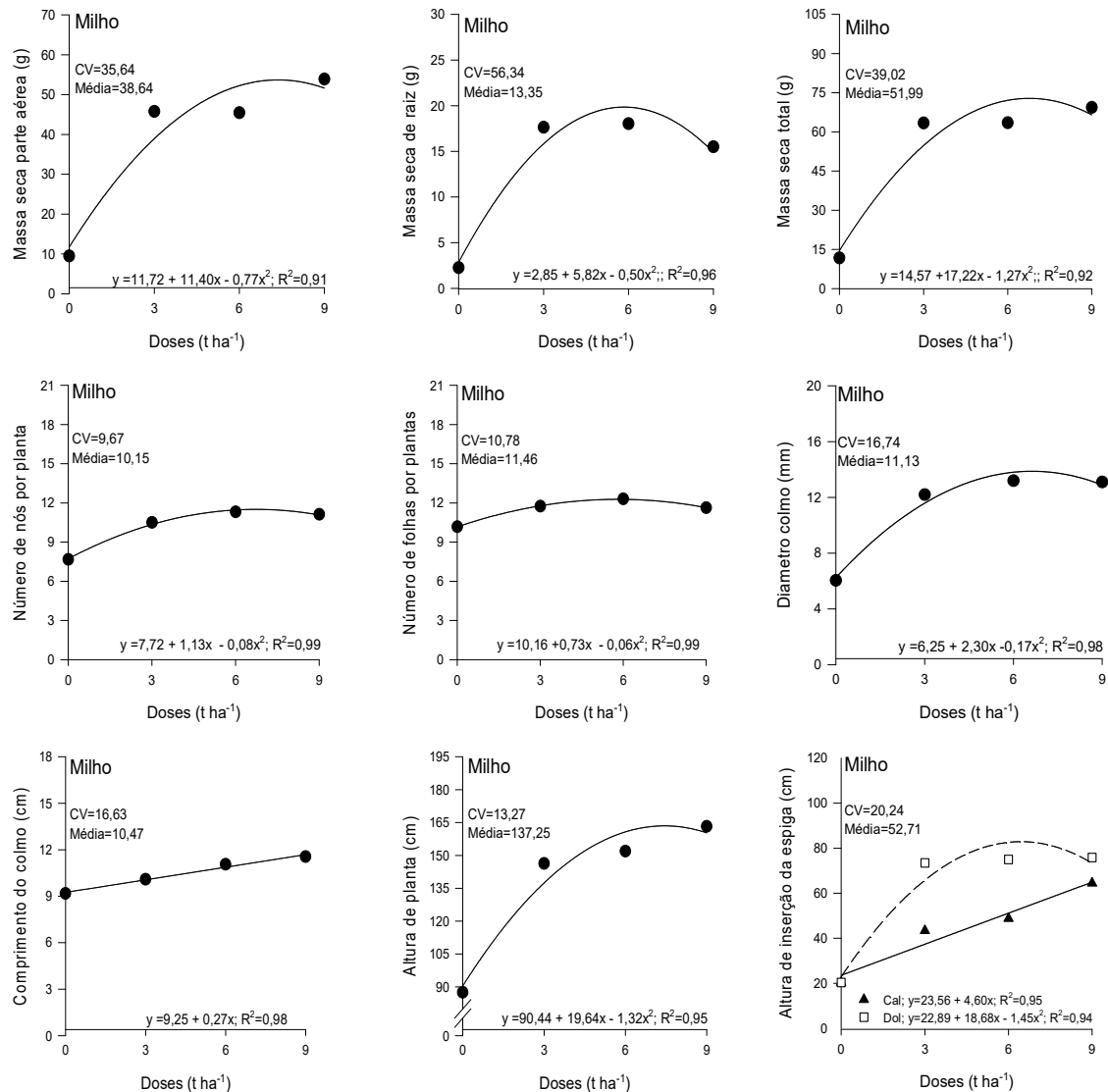


Figura 4. Valores médios de massa seca da parte aérea (MSA), massa seca da raiz (MSR), massa seca total (MST), número de nós por planta (NNP), número de folhas por planta (NFP), diâmetro de colmo (DC), altura das plantas (ALT), altura de inserção da espiga (AIE) em plantas de milho após a aplicação de doses de calcário calcítico e dolomítico finamente moído ao solo.

Figure 4. Mean values of shoot dry mass (MSA), root dry mass (MSR), total dry mass (MST), number of nodes per plant (NNP), number of leaves per plant (NFP), diameter of stalk (DC), plant height (ALT), ear insertion height (EIA) in maize plants after application of finely ground calcareous and dolomitic limestone doses to the soil.

As plantas de soja apresentaram a massa do sistema radicular superior ao serem cultivadas sob calcário dolomítico, o que também ocasionou maior concentração de Mg na parte aérea. A importância do elemento Mg está no fato de o mesmo incrementar de sistema radicular das plantas, devido a função de facilitar o aprofundamento e a expansão radicular (MALAVOLTA et al., 1997).

Assim como as raízes, a massa dos grãos aumentou com a calagem, o que evidencia haver uma relação entre o incremento do sistema radicular e o enchimento de grãos e, certamente aos elementos Ca e Mg presentes nos corretivos foram fundamentais para este efeito na planta, facilitando a exploração de um maior volume de solo, aumentando o contato raiz-nutriente. O Ca tem papel mecânico importante como integridade da membrana, formação de paredes, pectato de cálcio, que é um agente cimentante, abertura estomatal e seletividade na absorção e transporte de íons, entre eles o K, em que a omissão de Ca na solução faz com

que a absorção de K sucumba em minutos; protege ainda a membrana dos efeitos deletérios do H<sup>+</sup>, e juntamente com o Mg, importante componente da clorofila e maior ativador enzimático, entre os nutrientes (EPSTEIN; BLOOM, 2005).

Os valores de Ca e Mg na matéria seca das plantas estão dentro da faixa adequada para a soja, para Ca e Mg, segundo Oliveira (2004). Caires; Fonseca (2000) observaram aumento da concentração de Mg nas folhas de soja para o uso de doses de calcário dolomítico em plantio direto e ausência de efeito para o Ca no tecido, explicado pelo alto teor de Ca no solo. Corrêa et al. (2018), não verificaram alterações na concentração de nutrientes nas folhas ou frutos de goiabeira, testando doses e granulometrias de calcário, atribuindo este efeito ao tempo decorrido da aplicação e a espécie em questão, já que o solo dos autores também respondeu as doses dos corretivos.

Os componentes que impactaram na produção (grãos por vagem, vagens por planta e consequente número de grãos por



planta) tiveram efeito quadrático (Figura 3), o que resultou também em efeito quadrático para a produção final de grãos, assim como para as partes vegetativas da planta (matéria seca da parte aérea, altura e diâmetro de caule). Pottker; Bem (1998) também verificaram ganhos em produtividade com a aplicação de calcário na cultura da soja em plantio direto.

Estes resultados obviamente estão ligados ao comportamento que o solo apresentou, tendo seu pH, teores e saturações de Ca e Mg aumentados, fornecendo mais nutrientes para as plantas e criando melhores condições de desenvolvimento de raiz, de parte aérea e produção de grão final, com 0,6 g a mais de grãos por planta. Nolla; Anghinoni (2006) verificaram incrementos em todos os parâmetros de planta de soja avaliados decorrentes do aumento das doses de calcário, aplicando até ~8,0 t ha<sup>-1</sup> de calcário.

O melhor ajuste quadrático para os dados e não linear, resultado similar ao de Nolla; Anghinoni (2006), se deve ao enriquecimento dos tecidos com Ca e Mg até um certo limite, em função dos efeitos de cada corretivo, e também pelo antagonismo e posterior redução das concentrações de K no tecido nas doses mais altas de calcário (Figura 3), decaindo de 27 g kg<sup>-1</sup> na ausência de calagem para 15 g kg<sup>-1</sup> nas doses de 6 e 9 t ha<sup>-1</sup>, resultado na inibição competitiva no complexo de troca do solo, em que altos teores de Ca e Mg no solo reduziram a absorção de K, o que prejudicou a produção final das plantas. Caires et al. (2002) avaliaram por sete anos, uma área de plantio direto e observaram que a supercalagem proporcionou melhoria nas condições do solo, melhor crescimento e distribuição das raízes, embora tenha reduzido os teores de K nas plantas, porém sem comprometer a produtividade da cultura.

Ao não se fornecer calcário, é notório o efeito negativo nas plantas, o que fica evidente pelos coeficientes de ajustes das equações e pela observação da lei dos incrementos decrescentes. A aplicação da primeira dose do corretivo (3 t ha<sup>-1</sup>) aumentou o número de vagens por planta de 15 para 74, o número de grãos por planta de 11 para 110 e a produção de 1,8 para 10 gramas, respectivamente. Salienta-se que existiam algumas vagens sem a presença de grãos nas plantas. Isso demonstra a importância de uma correta calagem para correção do pH do solo e para o fornecimento de nutrientes essenciais como cálcio e magnésio.

Para o milho, o efeito das doses de calcário nas plantas para todas as variáveis é resultado dos diversos benefícios do calcário, como observado em outros estudos. Rodrighero et al. (2015) verificaram aumento na produtividade de milho em campo com o aumento das doses de calcário, não havendo efeito para diferentes corretivos (calcítico x dolomítico) e nem para níveis de PRNT dos mesmos. A ausência de efeito entre os calcários no trabalho dos autores pode ser explicada pelos teores Mg no solo, sempre superiores a 1,5 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>. Já Pottker; Bem (1998) não verificaram ganhos em produtividade no milho com a aplicação de doses de calcário, atribuindo tal evento as boas condições de solo locais.

Alterações nas plantas pela carência de Mg se devem as várias funções do nutriente, que incluem a fotofosforilação, fixação de CO<sub>2</sub>, síntese de proteínas, formação de clorofila, partição e utilização de fotoassimilados, geração de espécies reativas de oxigênio e fotooxidação em tecidos foliares (CAKMAK; YAZICI, 2010). Assim, segundo os mesmos autores, muitos processos fisiológicos e bioquímicos são afetados pela deficiência de Mg, diminuindo a formação de raízes, o crescimento e rendimento das plantas.

## 5. CONCLUSÕES

As doses crescentes de calcário influenciaram todas as variáveis do solo e das plantas com efeito linear ou quadrático.

Os teores de cálcio, magnésio, suas saturações na CTC e a relação Ca:Mg foram afetadas em função da riqueza de cada nutrientes no respectivo corretivo.

A aplicação de calcário finamente moído elevou saturação de bases para valores próximos do valor calculado, não chegando ao valor desejado apenas na dose de 9,0 t ha<sup>-1</sup> e atingiu o pico de reação aos 90 dias, decaindo a partir desta data.

Nas plantas houve interação entre corretivo e dose, com efeito na soja para a concentração de Ca ou Mg, decorrente do maior teor do nutriente no corretivo e no milho a altura de inserção da espiga foi superior com a aplicação de calcário dolomítico.

## 6. AGRADECIMENTOS

À Sinecal pelo apoio financeiro.

## 7. REFERÊNCIAS

- ALCARDE, J. C.; RODELLA, A. A.; Qualidade e legislação de fertilizantes e corretivos. **Tópicos em Ciências do Solo**, v. 3, p. 291-334, 2003.
- CAIRES, E. F.; FONSECA, A. F. Absorção de nutrientes pela soja cultivada no sistema de plantio direto em função da calagem na superfície. **Bragantia**, v. 59, n. 2, p. 213-220, 2000.
- CAIRES, E. F.; ALLEONI, L. R. F.; Michel A. CAMBRI, M.; Barth, G. Surface application of lime for crop grain production under a no-till system. v 97. **Agronomy Journal**, v. 97, p. 791-798, 2005.
- CAKMAK, I.; YAZICI, A. Magnesium: a forgotten element in crop production. **Better Crops**. v. 94, p. 23-25, 2010.
- CECAGNO, D.; COSTA, S. E. V. G. A.; ANGHINONI, I.; BRAMBILLA, D. M.; NABINGER, C. Acidificação do solo sob fertilização nitrogenada de longo prazo em campo nativo com introdução de azevém. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 18, p. 263-267, 2021. <https://doi.org/10.5965/223811711812019263>
- CHAPLA, M. E. **Calagem superficial em área de plantio direto**. 2017. 85 f. Dissertação [Mestrado em Agronomia] – Universidade Federal de Mato Grosso, Sinop, 2017.
- CLARCK, R. B.; ZETOA, S. K.; RITCHEYA, K. D.; BALIGARA, V. C. Maize growth and mineral acquisition on acid soil amended with flue gas desulfurization byproducts and magnesium. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 28, p. 1441-1459, 1997. <https://doi.org/10.1080/00103629709369886>
- CORRÊA, M. C. M.; NATALE, W.; PRADO, R. M.; BANZATTO, D. A.; QUEIROZ, R. F.; SILVA, M. A. C. Surface Application of lime on a guava orchard in production. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 42, p. e0170203, 2018. <https://doi.org/10.1590/18069657rbc20170203>
- EPSTEIN, E.; BLOOM, A. J. **Mineral nutrition of plants: principles and perspectives**. 2 ed. Sunderland: Sinauer Associates, 2005. 400p.
- FERREIRA, D. F. Sisvar: um sistema computacional de análise estatística. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011. <https://doi.org/10.1590/S1413-70542011000600001>.

- GALLO, J. R.; CATANI, R. A.; GARGANTINI, H. Efeito de três tipos de calcários na reação do solo e no desenvolvimento da soja. **Bragantia**, v. 15, n. unico, p. 121-130, 1956.
- GUARÇONI, A.; SOBREIRA, F. M. Classical methods and calculation algorithms for determining lime requirements. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 41, e0160069, 2017. <https://doi.org/10.1590/18069657rbc20160069>
- GONÇALVES, J. R. P.; MOREIRA, A.; BÜLL, L. T.; CRUSCIOL, C. A. C.; VILLAS BOAS, R. L.; Granulometria e doses de calcário em diferentes sistemas de manejo. **Acta Scientiarum Agronomm**, v. 33, p. 369-375, 2011.
- KURIHARA, C. H.; MAEDA, S.; HERNANI, L. C.; SILVA, W. M. Eficiência relativa de frações granulométricas de calcários sul-mato-grossenses. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 34, n. 8, p. 1443-1449, 1999.
- LANGE, A.; DAMIN, V.; CARVALHO, J. L.; CRUZ, J. C.; MARQUES, J. J. Alterações em atributos do solo decorrentes da aplicação de nitrogênio e palha em sistema semeadura direta na cultura do milho. **Ciência Rural**, v. 36, n. 2, p. 460-467, 2006.
- LANGE, A.; ZANDONADI, R. S.; GOBBI, F. C. Distribuição horizontal da fertilidade do solo em sistemas de tráfego controlado com fertilização em linha. **Nativa**, v. 7, p. 251-255, 2019. <http://dx.doi.org/10.31413/nativa.v7i3.7639>
- LANGE, A.; CAVALLI, E.; PEREIRA, C. S.; CHAPLA, M. V.; FREDDI, O. S. Relações cálcio:magnésio e características químicas do solo sob cultivo de soja e milho. **Nativa**, v. 9, n. 3, p. 294-301, 2021. <https://doi.org/10.31413/nativa.v9i3.11526>
- MALAVOLTA, E. **Elementos da nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Editora Agronômica Ceres, 1980. 251p.
- MALAVOLTA, E. **ABC da adubação**. 5 ed. rev. at. São Paulo: Agronômica Ceres, 1989. 292p.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2 ed. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 319p.
- MARASCHIN, L.; SCARAMUZZA, J. F.; VIEIRA, C. R. (2020). Incubação do calcário e as características químicas de solos com texturas diferentes. **Nativa**, v. 8, n. 1, p. 43-51. <https://doi.org/10.31413/nativa.v8i1.6908>
- MUNOZ HERNANDEZ, R. J.; SILVEIRA, R. I. Efeitos da saturação por bases, relações ca:mg no solo e níveis de fósforo sobre a produção de material seco e nutrição mineral do milho (*Zea mays L.*). **Scientia Agricola**, v. 55, n. 1, p. 79-85, 1998. <https://doi.org/10.1590/S0103-90161998000100014>.
- NATALE, W.; COUTINHO, E. L. M. Avaliação da eficiência agrônômica de frações granulométricas de um calcário dolomítico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 18, n. 1, p. 55-62, 1994.
- NOLLA, A.; ANGHINONI, I. Critérios de calagem para a soja no sistema plantio direto consolidado. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 30 p. 475-483, 2006. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832006000300009>
- OLIVEIRA, S. A.; Análise foliar. In: SOUZA, D. M. G. de; LOBATO, E. (Eds.). **Cerrado: correção do solo e adubação**. 2 ed. Brasília - DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. p. 245-256.
- POTTKER, D.; BEN, J. R. Calagem para uma rotação de culturas no sistema de Plantio Direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 22, n. 4, p. 675-684, 1998. <https://doi.org/10.1590/S0100-06831998000400013>
- RODRIGHERO, M. B.; BARTH, G.; CAIRES, E. F. Aplicação superficial de calcário com diferentes teores de magnésio e granulometrias em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 39, n. 6, p.1723-1736, 2015. <https://doi.org/10.1590/01000683rbc20150036>