

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/317240050>

# Alterações químicas do solo e produtividade do milho com aplicação de gesso combinado com calcário

Article · January 2014

CITATIONS

2

READS

117

1 author:



[Telmo Jorge Carneiro Amado](#)  
Universidade Federal de Santa Maria

257 PUBLICATIONS 3,638 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)

Some of the authors of this publication are also working on these related projects:



soil carbon [View project](#)



No-till and Cover Crops [View project](#)

## **Alterações químicas do solo e produtividade do milho com aplicação de gesso combinado com calcário**

Douglas Dalla Nora; Telmo Jorge Carneiro Amado; Rafael Pivotto Bortolotto; Ademir de Oliveira Ferreira; Cristiano Keller; Junior Kunz

Universidade Federal de Santa Maria, Departamento de Solos, Avenida Roraima, Bairro Camobi, CEP 97105-900, Santa Maria (RS), Brasil. E-mail: douglasdnpg@gmail.com; florestatel@hotmail.com; rpbortolotto@yahoo.com.br; aoferreira1@yahoo.com.br; cristianokeller89@hotmail.com; junioragrokuns@gmail.com.

**Resumo:** O sistema plantio direto não tem revelado um acentuado decréscimo da qualidade química das camadas subsuperficiais do solo, aumentando assim o interesse na busca por alternativas para correção dessas camadas, não necessitando interromper o sistema. Nesse contexto, o objetivo do presente trabalho foi avaliar a influência do gesso agrícola, combinado com calcário dolomítico, nos parâmetros químicos das camadas subsuperficiais do solo e sua relação com a produtividade do milho, em uma área comercial manejada sob sistema plantio direto de longa duração, em um Latossolo no Rio Grande do Sul. O delineamento experimental em ambas as áreas foi de blocos ao acaso, com três repetições. Foi realizada uma amostragem inicial para diagnosticar a qualidade química do solo e seis meses após implantação do experimento foi realizada uma segunda amostragem com intuito de avaliar o efeito dos tratamentos nos parâmetros químicos do solo. Juntamente a essa amostragem, foram coletadas amostras de milho para cálculo da produtividade do mesmo. O experimento recebeu, além do tratamento testemunha os seguintes tratamentos: 2,6 Mg ha<sup>-1</sup> de gesso + 2 Mg ha<sup>-1</sup> de calcário e 5 Mg ha<sup>-1</sup> de gesso + 2 Mg ha<sup>-1</sup> de calcário. Após seis meses houve aumento da saturação de bases em superfície e em profundidade e diminuição dos teores de alumínio no perfil. Não foi verificada lixiviação de K para as camadas mais profundas do solo. A produtividade do milho foi positivamente influenciada pela aplicação combinada de gesso e calcário, sendo o incremento de Ca, um dos fatores determinantes para este resultado.

**Palavras chave:** Subsolo, acidez, saturação por bases, plantio direto

## **Chemical soil changes and corn yield under gypsum application combined with lime**

**Abstract:** The minimum tillage system has been showing a significant decrease of the chemical quality of sub-superficial soil layers, in this way the interest in the search of correction of these layers is increasing. In this context, the aim of this work was the evaluation of the influence of gypsum application combined with dolomitic lime, on the chemical parameters of the sub-superficial soil layers, related to corn productivity, in a commercial farm managed under long term minimum tillage in Oxisol in the state Rio Grande do Sul, Brazil. The experimental design in both areas was a random block design with three replications. First samplings were made to diagnose the clay content of the area and six months after the implementation of the experiment, a second sampling was done to evaluate the effect of treatments on soil chemical parameters. At his time the corn yield was also determined. Treatments, besides the control, were: 2.6 Mg ha<sup>-1</sup> of gypsum + 2.0 Mg ha<sup>-1</sup> of lime and 5.0 Mg ha<sup>-1</sup> of gypsum + 2.0 Mg ha<sup>-1</sup> of lime. Results show an increase of the base saturation at surface and in depth, with a decrease of the aluminum contents in the profile. There was no K leaching to deeper soil layers. Corn yield responded positively under combination of gypsum and lime, the increase in the calcium content being the main factor for this result.

Key words: Subsoil, acidity, base saturation, minimum tillage.

## Introdução

Os elevados teores de alumínio (Al) e a redução das bases trocáveis nas camadas mais profundas do solo têm sido apontados como parâmetros limitantes do desenvolvimento radicular e conseqüente do decréscimo da produção das culturas. Devido à baixa solubilidade do calcário e conseqüentemente reduzido efeito na melhoria química das camadas subsuperficiais, áreas com aplicação superficial desse corretivo não tem apresentando decréscimo dos níveis de Al nas camadas abaixo de 0,20 m (CAIRES et al., 2006). Nesse sentido o aumento da produtividade no sistema plantio direto (SPD) tem sido limitado pelos altos teores de Al em subsuperfície não havendo respostas a calagem (ALLEONI et al., 2005). O desenvolvimento adequado de culturas como o milho, está diretamente ligado à correção da acidez com a aplicação de calcário em SPD. A aplicação superficial de calcário não tem apresentado resultados tão expressivos em altas produções da cultura em solos ácidos (RHEINHEIMER et al., 2000).

O gesso agrícola tem sido proposto como alternativa para redução da atividade do Al e aumento da saturação por bases (V%) em camadas subsuperficiais, possibilitando assim um maior desenvolvimento radicular e conseqüentemente maior exploração do solo (SORATTO; CRUSCIOI, 2008). A aplicação de calcário combinado com gesso tem sido proposta como uma prática mais eficiente para potencialização do gesso, isso porque, as reações desencadeadas pelo calcário na solução do solo elevam o pH facilitando o carregamento dos cátions  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  pelo sulfato advindo do gesso (MARKET et al., 1987).

O gesso agrícola é um sulfato de cálcio di-hidratado, ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ). Estando em contato com a solução do solo pode deslocar Al, magnésio (Mg) e potássio (K) dos complexos de troca liberando-os para a solução, também tem a capacidade de formar  $\text{AlSO}_4^+$ , sendo este menos tóxico as plantas (ZAMBROSI et al., 2007), resultando na elevação da concentração de bases com conseqüente favorecimento do sistema radicular. Este fato é importante para o incremento da resistência a déficits hídricos de

curta duração, frequentes no Sul do Brasil. Esse aumento dos teores dos nutrientes em profundidade tem um efeito direto na melhor nutrição das plantas e conseqüente aumento da massa seca das culturas como constatado por Rosa et al. (2009).

Considerando os fatores acima descritos o presente trabalho teve como objetivo avaliar a eficiência do gesso combinado com calcário na melhoria dos atributos químicos da camada subsuperficial e avaliar a sua relação com a produtividade de milho sob SPD de longa duração em um Latossolo no Rio Grande do Sul (RS).

## Material e Métodos

### Caracterização da área em estudo

O experimento foi conduzido no município de Carazinho (RS) (latitude  $28^\circ 17'S$  e longitude  $52^\circ 47'N$ , altitude 603 metros), em um Latossolo Vermelho Distrófico (Embrapa, 2006). Segundo Köppen (1931) o clima da região é classificado como subtropical úmido (Cfa) com uma temperatura média de  $16^\circ\text{C}$ . A precipitação decorrente no período de seis meses (tempo entre a instalação do experimento e a coleta de dados) acumulou um total de 1864 mm (Figura 1).

A área experimental vinha sendo manejada em SPD por longo prazo (15 anos), sendo comumente cultivada com soja e milho no verão e trigo e aveia-preta no inverno. As doses de gesso + calcário foram homogeneamente espalhadas a lanço na área experimental, em um período em torno de 20 dias antes da implantação da cultura do milho e após a dessecação da área que suportava a cultura da aveia.

Para caracterização química inicial da área experimental, foram coletadas sub-amostras dentro de cada bloco onde foram dispostos os tratamentos. As amostragens foram estratificadas nas seguintes profundidades: 0,0-0,1; 0,1-0,2; 0,2-0,4 e 0,4-0,6 m.

### Delineamento Experimental

O delineamento experimental foi de blocos ao acaso com três repetições, cada parcela experimental apresentava as dimensões de 8 x 8 m. Os tratamentos foram formados a partir da combinação de doses de gesso + calcário dolomítico aplicados na superfície do solo, nas doses de 0,0 + 0,0 (Test.); 2,5 Mg ha<sup>-1</sup> de gesso +

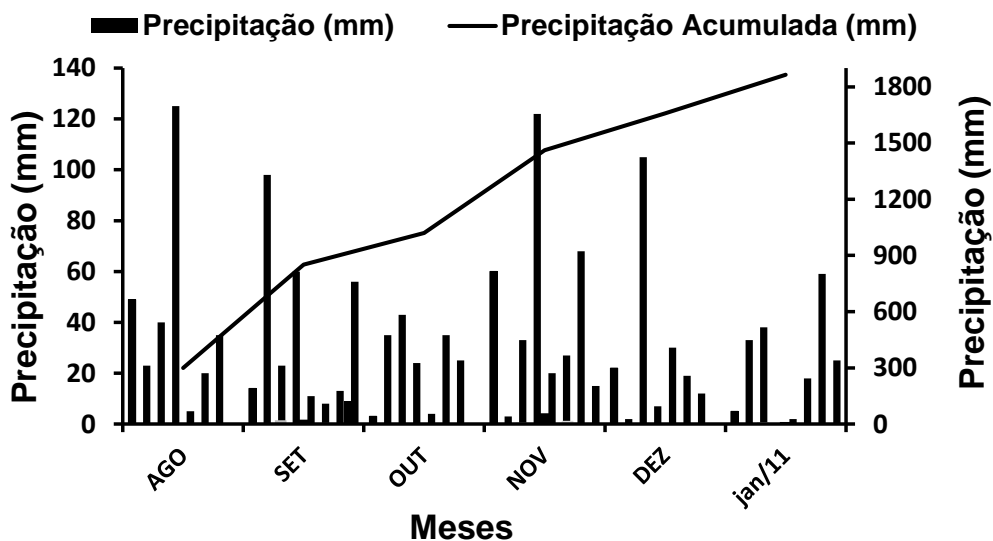
2,0 calcário (T1) e 5,0 Mg ha<sup>-1</sup> de gesso + 2,0 Mg ha<sup>-1</sup> calcário (T2).

O gesso utilizado na implantação do experimento continha em sua formulação química 29% de CaO, 15,5% de enxofre (S), 0,0024% de flúor (F) e 0,9% de P, em suas características físicas apresentava densidade de 1,17 g cm<sup>-3</sup> e

6,5% de umidade relativa (UR). O calcário dolomítico utilizado continha em sua formulação 29,5% de CaO, 19,5% de MgO e PRNT de 75%.

Os tratamentos estudados foram compostos por doses dos produtos comerciais anteriormente citados.

**Figura 1** - Distribuição diária da precipitação pluviométrica relacionada com a precipitação acumulada registrada durante seis meses.



A determinação da quantidade de gesso foi realizada de acordo com os parâmetros da camada de 0,20-0,40 m, seguindo a proposta de Quaggio e Rajj (1996): NG= argila x 6,0; onde NG= necessidade de gesso em Kg ha<sup>-1</sup>; Argila= teor de argila no solo g Kg<sup>-1</sup>. Considerando o teor de argila (680 g kg<sup>-1</sup>) da área experimental investigada antes da instalação do experimento na camada de 0,20-0,40 m (Tabela 1), as doses de gesso recomendadas estariam em torno de 4,0 Mg ha<sup>-1</sup>. Foi estabelecida uma dose menor e outra maior que este valor, possibilitando avaliar a dose que se melhor adequasse para as condições do RS.

#### Determinações químicas e da produtividade

Passados seis meses, juntamente com a colheita do milho, foram coletadas 3 amostras estratificadas nas seguintes profundidades: 0-0,05; 0,05-0,10; 0,10-0,15; 0,15-0,25; 0,25-0,40 e 0,40-0,60 m através da abertura de trincheiras aleatoriamente ao longo da parcela experimental. As dimensões das trincheiras foram de 0,3 x 0,3 x

0,6 m. As amostras do solo foram coletadas com uma espátula na parede frontal da trincheira. As amostras foram secas ao ar e manipuladas visando à retirada de raízes e resíduos de plantas. Nessas amostras foram realizadas as determinações químicas de pH em H<sub>2</sub>O determinado por potenciômetro na suspensão solo-água na proporção de 1:1, Al obtido na extração com KCL 1 mol L<sup>-1</sup> e titulado com NaOH 0,0125 mol L<sup>-1</sup>, cálcio (Ca) e Mg obtido na extração com KCL 1 mol L<sup>-1</sup> e determinados por espectrofotometria de absorção atômica, as análises dos teores de K no solo foram extraídas pelo método do extrator duplo ácido MEHLICH-I (Mehlich, 1953) e determinados por fotometria de chama. A determinação do enxofre (S) foi realizada a partir da extração com fosfato de Ca adotando o tratamento com HNO<sub>3</sub> - HClO<sub>4</sub> (Beaton et al., 1968) e então o So<sub>4</sub><sup>2-</sup> foi determinado após a precipitação com solução de gelatina - BaCl<sub>2</sub> (TABATABAI; BRENNER, 1970).

Tais metodologias estão descritas em Tedesco et al. (1995).

Na maturação fisiológica do milho, em cada ponto onde foi coletado amostras de solo, também foram extraídas manualmente amostras de espigas de milho (seis meses após implantação do experimento) para cálculo da produtividade e análise dos componentes de produtividade. Em cada ponto coletou-se quatro metros lineares de milho (dois metros em cada linha de plantio), após isso foi determinada a umidade do grão (BRASIL, 2009) e calculado a produtividade em  $\text{kg ha}^{-1}$ , os componentes de produtividade para a cultura do milho foram determinados a partir da contagem do número de espigas por metro linear, a contagem do número de fileiras por espiga e do número de grãos por fileira.

### Análise Estatística

Os resultados foram submetidos à análise de variância utilizando o programa computacional SISVAR 5.0 (FERREIRA, 2007) e as médias foram comparadas pelo teste Tukey ( $p < 0,05$ ).

## Resultados e Discussão

### Caracterização Inicial do Experimento

Considerando os valores ideais estabelecidos pela Comissão de Química e Fertilidade do Solo, (2004) que estabelecem valores mínimos para pH em  $\text{H}_2\text{O}$  do solo de 5,5, V% superiores que 65% e valores máximos de 10% para m% na camada de 0,0-0,10 m,

corroborando que a necessidade de utilização do mesmo é indicada quando dois dos três critérios acima descritos são contemplados.

Os parâmetros químicos verificados anteriormente a entrada dos tratamentos indicaram valores de pH, V% e m%, na camada de 0,00-0,10 m, respectivamente de 5,6, 74,9% e 0,0 (Tabela 1), sendo assim, não haveria recomendação de uso do calcário nessa área experimental.

Os valores referentes a pH, V% e m%, na camada de 0,10-0,20m foram respectivamente de 5,0; 48,8% e 10,7%, indicando que o presente solo possui um abrupto gradiente de decréscimo dos parâmetros químicos após 0,10m de profundidade, sendo que este gradiente torna-se mais evidenciado quando analisa-se camadas do solo abaixo de 0,20 m (Tabela 1). Esse eminente decréscimo dos parâmetros químicas em subsuperfície caracteriza um importante agente limitante do desenvolvimento radicular e conseqüentemente queda da produtividade das culturas (ALLEONI et al., 2005).

Foi verificado um decréscimo de 70% no teor de K quando comparada a camada de 0,10 m para a camada de 0,10-0,20 m (Tabela 1). Esse gradiente de transição do teor de K deve-se a elevada capacidade de ciclagem das culturas como milho associada a adubações superficiais e ao incremento de matéria orgânica do solo (MOS) em SPD aumentando a capacidade de troca de cátions (CTC) e conseqüentemente a retenção de nutrientes como o potássio (Souza et al., 2009). Amado et al. (2009) demonstrou elevada estratificação de fósforo P e K em SPD.

**Tabela 1** - Atributos químicos avaliados antes da implantação do experimento.

Prof.(m)	pH <sub>H<sub>2</sub>O</sub>	Al <sup>1</sup>	Ca <sup>2</sup>	Mg <sup>3</sup>	H+Al <sup>4</sup>	CTC <sub>pH7,0</sub> <sup>5</sup>	K <sup>6</sup>	P <sup>7</sup>	V% <sup>8</sup>	m% <sup>9</sup>	Argila	
		-----cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----										--g Kg <sup>-1</sup> --
0-0,10	5,6	0,0	7,7	3,8	3,9	15,7	0,26	23,0	74,9	0	540	
0,10-0,20	5,0	0,8	4,2	2,4	6,9	13,5	0,08	8,3	48,8	10,7	630	
0,20-0,40	4,7	3,1	2,2	1,2	8,7	12,1	0,04	3,4	28,1	46,0	680	
0,40-0,60	4,5	3,7	1,4	0,9	10,6	12,9	0,04	1,8	17,8	61,2	700	

<sup>(1)</sup> Alumínio. <sup>(2)</sup> Cálcio. <sup>(3)</sup> Magnésio. <sup>(4)</sup> Acidez potencial. <sup>(5)</sup> Capacidade de troca de cátions <sup>(6)</sup> Potássio. <sup>(7)</sup> Fósforo. <sup>(8)</sup> Saturação por Bases. <sup>(9)</sup> Saturação por alumínio.

### Melhoria da qualidade química do solo

Os teores dos atributos químicos analisados pH<sub>H<sub>2</sub>O</sub>, Al, Ca, Mg, K, CTC, S, saturação por alumínio (m%) e saturação por

bases (V%) apresentaram interação significativa entre doses de gesso + calcário x profundidade (Tabela 2).

Na Tabela 3 encontram-se os dados de variância dos atributos químicos do solo seis meses após a implantação dos experimentos. Para os valores de pH, ambos os tratamentos

apresentaram diferença estatística em relação a testemunha ( $p < 0,05$ ), na profundidade de 0,10-0,15 m, sendo a maior elevação de pH constatada no tratamento 5,0 Mg ha<sup>-1</sup> de gesso + 2,0 Mg ha<sup>-1</sup> de calcário (T2) (Tabela 3). O pequeno incremento nos valores de pH na superfície do solo se deve ao lento efeito da correção causada pelo calcário e pela sua limitada reação ao local de aplicação (CAIRES et al., 2003). Esse pequeno incremento ocorrente no

pH em água nas camadas mais profundas do solo (Tabela 3) pode ser atribuído ao efeito produzido pelo gesso através de troca de ligantes na superfície das partículas do solo causado pelo envolvimento de óxidos hidratados de ferro e alumínio com SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> liberando OH<sup>-</sup> e neutralizando parte da acidez (BISSANI et al., 2008), resultados constatando acréscimo de pH com o uso de gesso também foram verificados por Ernani e Barber, (1993).

**Tabela 2** - Variância dos atributos químicos do solo em razão das doses de gesso combinadas com calcário e profundidade avaliada seis meses após a implantação do experimento.

Causas de variação	G.L. <sup>1</sup>	pH <sub>H2O</sub>	Al <sup>2</sup>	Ca <sup>3</sup>	Mg <sup>4</sup>	K <sup>5</sup>	CTC <sub>pH 7,0</sub> <sup>6</sup>	S <sup>7</sup>	m% <sup>8</sup>	V% <sup>9</sup>
Doses de gesso	2	*	*	*	*	*	*	*	*	*
C.V. (%)		11,65	58,4	57,82	44,22	8,84	10,88	10,88	113,25	47,72
Profundidade	5	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Doses de gesso x profundidade	10	*	*	*	*	*	*	*	*	*
C.V.(%) <sup>10</sup>		3,00	22,72	8,41	12,08	2,27	7,16	7,16	35,79	10,14

\* Significativo a 1% de significância. <sup>(1)</sup> Graus de liberdade. <sup>(2)</sup> Alumínio. <sup>(3)</sup> Cálcio. <sup>(4)</sup> Magnésio. <sup>(5)</sup> Potássio. <sup>(6)</sup> Capacidade de troca de cations <sup>(7)</sup> Enxofre. <sup>(8)</sup> Saturação por alumínio. <sup>(9)</sup> Saturação por Bases. <sup>(10)</sup> Coeficiente de Variação.

Os valores de Al apresentaram diferença estatística entre os tratamentos e a testemunha em todas as profundidades ( $p < 0,05$ ) com exceção das camadas até 0,10 m de profundidade, onde não havia Al no solo (Tabela 3). Como as reações do calcário são lentas e limitadas as primeiras camadas do solo, essa diminuição dos teores de Al podem ser atribuídas a alta solubilidade do gesso. Isso ocorre porque, após a dissociação do gesso há liberação de SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, este irá causar, além do efeito anteriormente descrito por Bissani et al., (2008), a ligação do Ca com o C orgânico e a disponibilização do SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> na solução do solo e decorrente substituição do OH<sup>-</sup>, este último na solução do solo infere diretamente no aumento do pH e diminuição da acidez causada pelo alumínio (SORATTO, CRUSCIOL, 2008), esse efeito causado pelo sulfato é acentuado em latossolos pelo alto número de cargas variáveis (Pavan, 1986). Os decréscimos mais elevados nos teores de Al ocorreram na camada de 0,25-0,40 m, sendo esse decréscimo na amplitude de 0,8 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> (Tabela 3), esse rápido efeito é decorrente da alta solubilidade do gesso fazendo com que

logo nos primeiros seis meses fossem constatados resultados positivos. Efeitos semelhantes na redução do Al foram verificados por Rampim et al. (2011), que após os primeiros seis meses de experimento constataram redução nos teores de Al até a camada de 0,40-0,60 m de profundidade utilizando doses de gesso até 5000 Kg ha<sup>-1</sup>.

Foi verificado em ambos os tratamentos aumentos significativos de Ca em relação à testemunha até a camada de 0,25 m ( $p < 0,05$ ).

Os aumentos mais representativos foram verificados na maior dose de gesso combinado com calcário em relação à testemunha até a camada de 0,10 m, sendo esses aumentos na ordem de: 4,06 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> para a camada de 0,00-0,05 m e 1,7 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> para a camada de 0,05-0,10 m. Resultados semelhantes foram destacados por Souza et al. (1996). Essa grande movimentação do Ca através do perfil ocorreu devido à formação de pares iônicos neutros com o SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> (DIAS, 1992), sendo que esse efeito é auxiliado pela mobilidade de cátions ligados aos

ácidos orgânicos de restos culturais (FRANCHINI et al., 2003).

Foi verificado acréscimo dos níveis de Mg (Tabela 3) do solo, isso porque a combinação com calcário dolomítico incrementou os teores desse elemento em superfície, então, da mesma maneira que ocorrido com o Ca há a formação de pares iônicos neutros entre Mg com o  $\text{SO}_4^{2-}$ , como anteriormente citado por Dias (1992), assim houve uma redistribuição desse elemento no

perfil do solo, resultados esses, constatados por Nava et al., (2012).

Não foi verificado aumento significativo dos teores de K nas camadas mais profundas do perfil (Tabela 3). Alguns estudos tem demonstrado lixiviação de K a partir do uso do gesso, entretanto, esse efeito é reduzido pela combinação com calcário, sendo essas perdas ainda menores em SPD (CAIRES et al., 2004).

**Tabela 3** - Variância dos atributos químicos do solo em razão das doses de gesso e profundidade seis meses após a implantação do experimento.

Profundidade (m)	Tratamentos	pH	Al <sup>1</sup>	Ca <sup>2</sup>	Mg <sup>3</sup>	K <sup>4</sup>	CTC <sub>pH</sub> 7,0 <sup>5</sup>	S <sup>6</sup>	m% <sup>7</sup>	V% <sup>8</sup>
0,0-0,05	Test. <sup>9</sup>	5,75 a*	0,00 a	8,64 b	2,77 b	0,32 a	17,1 a	13,55 b	0,00 a	76,4 a
	T1 <sup>10</sup>	5,91 a	0,00 a	11,7 a	3,55 b	0,27 b	19,4 a	26,62ab	0,00 a	82,9 a
	T2 <sup>11</sup>	5,83 a	0,00 a	12,7 a	2,94 a	0,23 b	19,1 a	36,70 a	0,00 a	79,9 a
0,05-0,10	Test. <sup>9</sup>	5,48 b	0,00 a	6,8 b	3,56 b	0,19 a	15,5 a	12,95 c	0,00 a	68,4 a
	T1 <sup>10</sup>	5,72 a	0,00 a	8,3 a	3,83 a	0,16ab	17,2 a	23,83 b	0,00 a	71,2 b
	T2 <sup>11</sup>	5,58 b	0,00 a	8,5 a	3,01 a	0,13 b	16,5 a	44,23 a	0,00 a	77,4 a
0,10-0,15	Test. <sup>9</sup>	4,95 b	0,68 b	4,96 b	2,77 b	0,10 a	16,9 a	8,70 c	7,75 b	46,3 c
	T1 <sup>10</sup>	5,25 b	0,28 a	6,84 a	2,95 b	0,09 a	15,9 a	24,05 b	0,00 a	69,5 a
	T2 <sup>11</sup>	5,25 a	0,38ab	6,34 a	3,43 a	0,07 a	15,7 a	49,17 a	4,16 a	61,7 b
0,15-0,25	Test. <sup>9</sup>	4,80 a	1,26 b	3,75 b	2,11 b	0,05 a	14,6 a	8,44 b	18,7 b	39,1 b
	T1 <sup>10</sup>	4,92 a	0,58 a	4,98 a	2,97 ab	0,05 a	14,8 a	32,34 a	7,81 a	52,9 a
	T2 <sup>11</sup>	4,88 a	0,68ab	4,78 a	2,56 a	0,05 a	15,5 a	39,69 a	12,2 a	49,1ab
0,25-0,40	Test. <sup>9</sup>	4,15 a	3,20 b	2,24 b	1,28 a	0,04 a	17,0 a	17,28 b	47,1 b	21,4 b
	T1 <sup>10</sup>	4,55 a	2,40 a	3,02ab	1,76 a	0,03 a	15,7 a	31,39ab	31,9 a	30,0ab
	T2 <sup>11</sup>	4,53 a	2,40 a	3,43 b	1,81 a	0,04 a	16,5 a	37,66 a	31,6 a	32,2 a
0,40-0,60	Test. <sup>9</sup>	4,40 a	3,78 b	1,48 a	0,88 a	0,04 a	18,8 a	33,54 a	61,0 a	12,9 a
	T1 <sup>10</sup>	4,43 a	3,18ab	1,88 a	1,19 ab	0,03 a	17,0 ab	38,42 a	49,0 a	18,6 a
	T2 <sup>11</sup>	4,41 a	2,93 a	1,81a	1,13 b	0,03 a	16,0 b	38,33 a	52,4 a	18,7 a
	C.V. (%) <sup>12</sup>	3,00	22,72	3,41	6,01	0,17	7,16	24,03	32,79	10,14

\*Médias seguidas por letras iguais, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. <sup>(1)</sup>Alumínio. <sup>(2)</sup>Cálcio<sup>-3</sup>. <sup>(3)</sup>Magnésio. <sup>(4)</sup>Potássio. <sup>(5)</sup> Capacidade de troca de cations. <sup>(6)</sup>Enxofre. <sup>(7)</sup>Saturação por alumínio. <sup>(8)</sup>Saturação por Bases. <sup>(9)</sup>Testemunha. <sup>(10)</sup>2,5 Mg ha<sup>-1</sup> de gesso + 2,0 Mg ha<sup>-1</sup> calcário. <sup>(11)</sup>5,0 Mg ha<sup>-1</sup> de gesso + 2,0 Mg ha<sup>-1</sup> calcário. <sup>(12)</sup>Coefficiente de Variação.

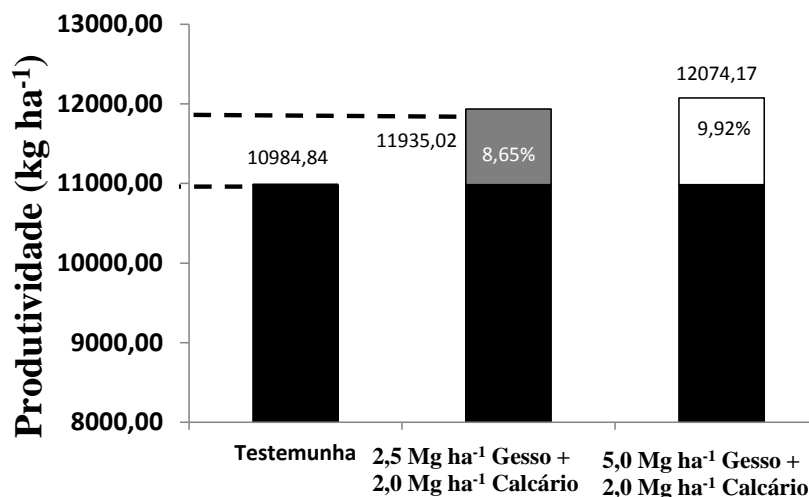
Para a V%, também foi verificada diferença estatística até a camada de 0,25-0,40 m ( $p < 0,05$ ), sendo que o tratamento  $2,5 \text{ Mg ha}^{-1}$  de gesso +  $2,0 \text{ Mg ha}^{-1}$  de calcário (T1) apenas apresentou V% abaixo de 65%, limite mínimo estabelecido pela Comissão de Química e Fertilidade do Solo, (2004), após a camada de 0,15-0,25 m. A m% do solo, apresentou diferença estatística da camada 0,10-0,15 m até a camada de 0,25-0,40 m de profundidade entre as doses de gesso e o tratamento testemunha (Tabela 3), o tratamento  $2,5 \text{ Mg ha}^{-1}$  de gesso +  $2,0 \text{ Mg ha}^{-1}$  de calcário (T1) apenas apresentou m% acima de 10% a partir da camada de 0,25-0,40 m. Dados semelhantes foram constatados por Zambrosi et al. (2007). Esse decréscimo da m% e aumento da V% se devem a menor relevância do Al nesses parâmetros e conseguinte maior porcentagem do Ca na CTC do solo (Tabela 3). Os níveis de S apresentaram aumento significativo ( $p < 0,05$ ) até a camada de 0,40-0,60 m (Tabela 3). Essa elevada mobilidade do S foi anteriormente constatada por Quaggio et al. (1993) que em experimento de

longa duração observou que todo o conteúdo de S havia lixiviado para camadas além de 0,60 m, resultados semelhantes, verificando aumentos dos teores de S, foram constatados por Caires et al. (2001).

#### Produtividade do milho

Em ambos os tratamentos foi constatado aumento significativo da produtividade do milho ( $p < 0,05$ ) (Figura 2), sendo que o tratamento que recebeu a maior dose de gesso combinada ao calcário ( $5,0 \text{ Mg ha}^{-1}$  gesso +  $2,0 \text{ Mg ha}^{-1}$  calcário) resultou na maior produtividade de milho (Figura 2), produtividade a qual foi 9,92% superior que o tratamento testemunha, resultados semelhantes foram encontrados por Caires et al., (1999; 2011), Toma et al. (1999) e Farina et al. (2000). O aumento mais relevante na produtividade do milho, possivelmente esta associado ao uso do calcário, entretanto, a combinação do gesso potencializou o efeito dos tratamentos afetando de forma positiva o desenvolvimento da cultura e consequentemente a produtividade de grãos.

**Figura 2** - Produtividade do milho em relação as doses de gesso combinadas com calcário. Letras iguais minúsculas nas colunas, comparando tratamentos não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.



Deve ser lembrado que a camada de 0,10 m não apresentava Al ou V% abaixo da recomendada, esse aumento da produtividade foi afetado pela diminuição da acidez em subsuperfície e pelo aumento de Ca na CTC do solo (CAIRES et al., 2004). A CTC no sistema

radicular de gramíneas como o milho são menores quando comparadas a leguminosas (FERNANDES E SOUZA, 2006), assim as raízes com elevada densidade de cargas acumulam íons bivalentes enquanto que raízes de baixa densidade de carga absorvem com maior



facilidade íons univalentes (WALLACE E SMITH 1955 citado por BROYER & STOUT, 1959), dessa maneira as plantas de milho apresentam menor eficiência na absorção de íons bivalentes, então o aumento de Ca provido da aplicação superficial de gesso mais calcário favoreceu a absorção desse nutriente pelas raízes das plantas (CAIRES et al., 2011).

Dentre os componentes de produtividade analisados, o número de espigas metro<sup>-1</sup> e grãos fileira<sup>-1</sup> foram significativamente afetados pela aplicação de gesso combinado com calcário ( $p < 0,05$ ), o componente de produtividade fileiras espiga<sup>-1</sup> não apresentou diferença significativa devi do às doses de gesso (Tabela 4).

**Tabela 4** - Médias da produtividade e componentes de produtividade do milho.

Tratamentos (Mg ha <sup>-1</sup> )	Componentes de produtividade do milho		
	Espigas metro <sup>-1</sup>	Fileiras espiga <sup>-1</sup>	Grãos fileira <sup>-1</sup>
Test. <sup>1</sup>	5,66 c	14,00 a	36,60 b
T1 <sup>2</sup>	6,19 b	14,00 a	39,66 a
T2 <sup>3</sup>	6,40 a	14,13 a	40,60 a
Médias	6,08	14,04	38,95
C.V. (%) <sup>4</sup>	0,86	5,79	4,73

\*Médias seguidas por letras iguais, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. <sup>(1)</sup>Testemunha. <sup>(2)</sup>2,5 Mg ha<sup>-1</sup> de gesso + 2,0 Mg ha<sup>-1</sup> de calcário. <sup>(3)</sup> 5,0 Mg ha<sup>-1</sup> de gesso + 2,0 Mg ha<sup>-1</sup> de calcário. <sup>(4)</sup>Coefficiente de Variação

## Conclusões

O uso de gesso combinado com calcário é eficiente na melhoria dos atributos químicos do solo em profundidade.

O uso do gesso promove redução dos teores de Al nas camadas mais profundas do solo e aumentos dos teores de Ca no perfil do solo, não sendo observado diminuição do Mg quando seu uso é combinado com calcário.

Não foi verificada lixiviação de K para as camadas mais profundas do perfil. Os tratamentos com gesso combinado com calcário são eficientes no aumento da produtividade da cultura milho sendo o tratamento com maiores doses de gesso combinado com calcário o que apresenta maiores produtividades da cultura.

## Referências

ALLEONI, L.R.F. et al. Atributos químicos de um Latossolo de Cerrado sob plantio direto de acordo

com doses e formas de aplicação de calcário. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.29, p.923-934, 2005.

AMADO, T.J.C. et al. Atributos químicos e físicos de latossolos e sua relação com os rendimentos de milho e feijão irrigados. **Revista Brasileira de**

**Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.33, p.83-843, 2009.

BEATON, J.D. et al. **Determination of Sulphur in soil and plant material**. Washington, D.C, The Sulphur Institute, 1968. 56p. (Technical Bulletin N° 14).

BISSANI, A.C. et al. **Fertilidade dos Solos e Manejo da Adubação de Culturas**. 2° Ed., Porto Alegre, 2008.

BRASIL. **Regras para análise de sementes**. Brasília, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2009. 308p.

BROYER, T.C.; STOUT, P.R. The macronutrient elements. **Annual Review of Plant Physiology**, v.10, p.277-300, 1959.

CAIRES, E.F. et al. Changes in chemical soil characteristics and soybean response to lime and gypsum applications in a no-tillage system. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.27, p.275-286, 2003.

CAIRES, E.F. et al. Root growth and nutrient uptake by soybean as affected by lime and gypsum, under a no-tillage system. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.25, p.1029-1040, 2001.

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

CAIRES, E.F. et al. Calagem superficial e cobertura de aveia preta antecedendo os cultivos de milho e soja em sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.30, p.87-98, 2006.

CAIRES, E. F. et al. Long-term effects of lime and gypsum additions on no-till corn and soybean yield and soil chemical properties in southern Brazil. a 2010 The Authors. **Journal compilation a 2010 British Society of Soil Science**, v.27, p.45-53, 2011.

CAIRES, E.F.; KUSMAN, M.T.; BARTH, G.; GARBUIO, F.J.; PADILHA, J.M. Changes in soil chemical properties and corn response to lime and gypsum applications. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.28, p.125-136, 2004.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO RS/SC - CQFS-RS/SC. **Manual de adubação e de calagem para o Estado do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. Porto Alegre, SBCS/Núcleo Regional Sul, UFRGS, 2004. 57p.

DIAS, L.E. **Uso de gesso como insumo agrícola**. Seropédica: Embrapa - Centro Nacional

de Pesquisa de Biologia - CNPBS, 1992. 6p. (Comunicado Técnico nº7).

EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2.ed. Brasília: Embrapa Produção da Informação, 2006. 306p.

ERNANI, P.R.; BARBER S.A. Composição da solução do solo e lixiviação de cátions afetadas pela aplicação de cloreto e sulfato de cálcio em um solo ácido. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.10, p.41-46, 1993.

FARINA, M.P.W. et al. A comparison of strategies for ameliorating subsoil acidity: I. Longterm growth effects. **Soil Science Society of America Journal**, v.64, p.646-651, 2000.

FERNANDES, M.S.; SOUZA, S.R. Absorção de nutrientes. In: Nutrição mineral de plantas (ed. M.S. Fernandes). **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, Mg, p.115-153, 2006.

FERREIRA, D. F. Programa Sisvar.exe: **Sistema de análise de variância**. Lavas, UFLA, 2007.

FRANCHINI, J.C. et al. Organic composition of green manures during growth and its effect on cation mobilization in an acid Oxisol. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.34, p.2045-2058, 2003.

KÖPPEN, W. Grundriss der klimakende, Berlin: Leipzig: Walter de Gruyter. 1931, 388p.

MARKET, C.M. et al. **Considerações sobre o uso do gesso na agricultura**. Piracicaba, POTAFOS - Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1987. 3p. (Informações Agrônômicas Nº40).

MEHLICH, A. **Determination of P, Ca, Mg, K, Na and NH<sub>4</sub> by North Carolina Soil Testing Laboratories**. Raleigh, University of North Carolina, 1953, 4p.

NAVA, G. et al. Soil Composition and Nutritional Status of Apple as Affected by Long-Term Application of Gypsum. **Revista Brasileira de**

**Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.36, p.215-222, 2012.

PAVAN, M.A. **Comportamento do gesso nos solos ácidos das regiões tropicais e subtropicais**. Piracicaba, POTAFOS - Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1986. 3p. (Informações Agronômicas N° 35).

QUAGGIO, J.A. et al. Respostas da soja à aplicação de calcário e gesso e lixiviação de íons no perfil do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v.28, n.3, p.375-383, 1993.

QUAGGIO, J.A. E RAIJ, B. V. 1996. **Correção da acidez do solo**. In: Raij, B. V.; Cantarella, H.; Quaggio, J.A.; Furlani, A.M.C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas, Instituto Agronômico de Campinas, p.14-19. (Boletim Técnico N°100).

RAMPIM, L. et al. Atributos químicos de solo e resposta do trigo e da soja ao gesso em sistema semeadura direta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.35, p.1687-1698, 2011.

RHEINHEIMER, D.S. et al. Aplicação superficial de calcário no sistema plantio direto consolidado em solo arenoso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.30, p.263-268, 2000.

ROSA, Y.B.C.J. et al. interação nitrogênio, calcário e gesso agrícola para o cultivo da planta ornamental gladiolo. **Magistra**, Cruz das Almas, BA, v.21, n.4, p.311-320, 2009.

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

SOUZA, C.H.E. et al. Matéria orgânica e alterações de propriedades físicas e químicas de Solo sob sistemas de manejo no cerrado, **Magistra**, Cruz das Almas, BA, v.21, n.3, p.226-232, 2009.

SOUZA, D.M.G. et al. **Uso do gesso agrícola nos solos dos Cerrados**. Planaltina: EMBRAPA CPAC, 1996. 20p. (Circular Técnica N° 32).

TABATABAI, M.A. E BREMER, J.M. A simple turbidimetric method of determining total sulfur in plant materials. **Agronomy Journal**, v.62, p.805-806, 1970.

TEDESCO, M.J. et al. 1995. **Análises de solo, plantas e outros materiais**. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 174p. (Boletim Técnico N° 5).

TOMA, M. et al. Long-term effects of gypsum on crop yield and subsoil chemical properties. **Soil Science Society of America Journal**, v.63, p.891-895, 1999.

ZAMBROSI, F.C.B. et al. Nutrient concentration in soil water extracts and soybean nutrition in response to lime and gypsum applications to an acid Oxisol under no-till system. **Springer Science+Business Media B.V**, v.79, p.169-179, 2007.

Recebido em: 15/09/2012

Aceito em: 17/02/2014