

Gesso agrícola e calcário aplicados no sistema de plantio direto com e sem revolvimento do solo

Fabiana Schmidt¹, Valmor Tomelero² e Fabiano Daniel de Bona³

Resumo – A aplicação de calcário e gesso agrícola no solo promove alterações nos atributos químicos do solo e pode influenciar positivamente a produção das culturas. Este estudo foi realizado para avaliar as alterações nos atributos químicos do solo e na produção das culturas de soja e de trigo devido à aplicação do calcário e do gesso agrícola em solo manejado com plantio direto contínuo e com revolvimento. O experimento foi estabelecido no campo nas safras de 2013/14 (soja) e 2014/15 (trigo) em Erebang, RS. O delineamento experimental utilizado foi parcelas subdivididas, com três repetições. Nas parcelas principais foram aplicados os tratamentos de preparo do solo: plantio direto contínuo e com revolvimento através de subsolagem. Nas subparcelas foram aplicados os tratamentos sem aplicação de calcário e gesso agrícola (testemunha); 2,5t.ha⁻¹ de calcário; 2,5t.ha⁻¹ de gesso agrícola e 2,5t.ha⁻¹ de calcário + 2,5t.ha⁻¹ de gesso agrícola. A aplicação de calcário, associado ou não com o gesso agrícola, aumentou o pH e a disponibilidade de P e K na camada superficial do solo, mostrando-se a melhor opção para atingir as mais altas produtividades de grãos de soja e trigo nos dois sistemas de preparo do solo. O uso continuado do plantio direto resultou em maior produtividade de grãos de soja em relação à área em que o solo foi revolvido. A produtividade de grãos de trigo não foi afetada pelo tipo de preparo do solo.

Termos para indexação: atributos químicos; preparo do solo; soja; trigo.

Gypsum and lime in no-till and reduced tillage systems

Abstract- Limestone and gypsum application provides changes in soil chemical properties and can improve crop yield. This study was carried to investigate changes on soil chemical attributes and the grain yields of wheat and soybean due to application of limestone and gypsum under a no-till and reduced tillage. A field experiment was established in 2013/2014 (soybean) and 2014/2015 (wheat), in Erebang/RS. The experimental design was split plot, with three replications. In the main plots were applied tillage treatments: no tillage and soil disturbance through subsoiling. In the subplots were applied the treatments without application of limestone and gypsum (control); 2.5 Mg ha⁻¹ of limestone; 2.5 Mg ha⁻¹ of gypsum and 2.5 Mg ha⁻¹ of limestone + 2.5 Mg ha⁻¹ of gypsum. The application of lime combined or not with the use of gypsum increased pH, P and K concentrations in topsoil and demonstrated to be the better option to achieve the highest soybean and wheat yields in both tillage systems. The no-tillage system promoted higher soybean grain yields compared to reduced tillage system. Wheat grain yield was not affected by the soil tillage systems.

Index terms: chemical attributes; soil tillage; soybean; wheat.

Introdução

O manejo de lavouras em sistema de plantio direto (SPD) por longo período contribui para a melhoria de atributos físicos, químicos e biológicos do solo. O constante aporte de resíduos vegetais na superfície do solo promove aumento nos teores de matéria orgânica, aumentando a capacidade de troca de cátions (CTC), a disponibilidade de nutrientes para as culturas, a complexação de ele-

mentos tóxicos, a atividade biológica e a agregação do solo (BAYER & MIELNICZUK, 2008).

No SPD, a correção da acidez do solo é realizada por meio da aplicação de calcário na superfície sem incorporação. A não incorporação do calcário diminui a superfície de contato entre as partículas de solo e as do corretivo, retardando os efeitos da calagem e restringindo as reações aos centímetros superficiais devido à baixa mobilidade dos produtos

da reação do calcário no solo (CASSOL, 1995). Essa estratégia de aplicação do calcário pode estar contribuindo para a formação de um perfil de solo com características químicas e físicas desfavoráveis ao desenvolvimento radicular em profundidade e tem sido destacada como um dos principais limitantes para a manutenção de elevada produtividade, apresentando efeito mais acentuado nas culturas em situações de *deficit* hídrico de curta duração. Além do pro-

¹ Engenheira-agrônoma, Dra., Epagri / Estação Experimental de Itajaí, C.P. 277, 88301-970 Itajaí, SC, fone: (47) 3341-5204, e-mail: fabianaschmidt@epagri.sc.gov.br.

² Engenheiro-agrônomo, e-mail: vjtomelero@gmail.com.

³ Engenheiro-agrônomo, Dr., Embrapa Trigo, Passo Fundo, RS, e-mail: fabiano.debona@embrapa.br.

blema relacionado à não correção da acidez do subsolo, que limita o crescimento radicular, a aplicação de calcário em superfície pode acarretar deficiência de Ca e Mg em subsuperfície (DALLA NORA & AMADO, 2013).

O revolvimento do solo e a aplicação superficial de calcário combinada com gesso agrícola são alternativas apontadas para a melhoria das características químicas do solo em profundidade e, consequentemente, do ambiente para o crescimento das raízes das plantas (NEIS et al., 2010). O revolvimento do solo possibilita a correção do subsolo ácido que pode ser feita por meio de calagem na camada arável (até 20cm). Contudo, essa prática não é de interesse em áreas com SPD já estabelecido, pois o revolvimento do solo favorece a decomposição da matéria orgânica, expõe o solo ao processo erosivo e exige máquinas potentes e equipamentos caros para sua realização, o que torna a prática onerosa (CAIRES et al., 1998).

A aplicação de gesso agrícola ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) tem sido avaliada como alternativa para a melhoria da qualidade química do perfil do solo no SPD sem necessidade de interrupção do sistema, proporcionando o aprofundamento do sistema radicular e a maior eficiência na absorção de água e nutrientes do solo (DALLA NORA & AMADO, 2013). O gesso agrícola não apresenta propriedades de corretivo de acidez do solo. Entretanto, seu uso pode diminuir o efeito do alumínio trocável e aumentar a disponibilidade de Ca no subsolo devido a sua elevada solubilidade e mobilidade.

Quando aplicado na superfície do solo, o gesso agrícola movimenta-se ao longo do perfil sob a influência da percolação de água (CAIRES et al., 1999). Como consequência, obtém-se aumento no suprimento de cálcio (Ca) e enxofre (S) para as plantas em profundidade

(CAIRES et al., 1999; 2003). Ainda, o gesso atua indiretamente na melhoria química, pela lixiviação do ânion sulfato através do perfil do solo, arrastando consigo cátions como Ca, magnésio (Mg) e potássio (K), este último em menor quantidade, e elevando assim a saturação por bases (V%) das camadas mais profundas do solo. O ânion sulfato forma o complexo AlSO_4 , diminuindo o efeito tóxico do Al às plantas pela diminuição da atividade desse elemento na solução do solo (SUMNER, 1995).

A resposta das culturas ao revolvimento do solo ou à aplicação de gesso agrícola ou calcário em áreas com SPD necessita ser mais estudada visando estabelecer as melhores alternativas para a melhoria e a manutenção dos atributos químicos do solo. Nesse contexto, o objetivo deste trabalho foi avaliar as alterações nos atributos químicos do solo e a produção das culturas de soja e de trigo em resposta à aplicação de calcário e de gesso em solo manejado em sistema de plantio direto com e sem revolvimento do solo através de escarificação.

Material e métodos

O experimento foi conduzido em área agrícola situada no município de Erebang, RS, localizada nas coordenadas geográficas de 27°50'25,31" S e 52°20'36,08" O, com altitude de 671m. O clima da região, segundo a classificação climática de Köppen, é do tipo Cfa subtropical úmido. Os índices pluviométricos e a temperatura média durante o período de condução dos experimentos estiveram acima da média histórica para a região, com pluviosidade acumulada de 2.596,8mm em 14,5 meses (set. 2013 a nov. 2014) e predomínio de temperaturas entre 35 e 40°C nos meses de

dezembro e janeiro (safra 2013/14).

O solo da área experimental é classificado como Nitossolo Vermelho Distroférrico Latossólico, relevo ondulado e textura argilosa (SANTOS et al., 2013). A área experimental vinha sendo manejada em SPD de forma contínua havia 10 anos, tendo como principais culturas comerciais, na safra de verão, a soja (*Glycine max* (L.) Merrill) e o milho (*Zea mays* L.), e na safra de inverno, o trigo (*Triticum aestivum* L.), a aveia-preta (*Avena strigosa* L.), o azevém (*Lolium multiflorum* L.) ou o nabo-forrageiro (*Raphanus sativus* L.) como culturas de cobertura verde do solo. A condução dos experimentos ocorreu nas safras 2013 e 2014, sendo utilizada na área experimental a sequência de culturas: aveia-preta (cobertura do solo, inverno/2013); soja (cultivo comercial verão, safra 2013/2014); nabo (cobertura do solo, outono/2014); e trigo (cultivo comercial inverno, safra 2014).

Previamente à instalação do experimento foi realizada a coleta de amostras de solo para a determinação dos atributos químicos (Tabela 1) nas camadas de até 20 e de 20 a 40cm. O delineamento experimental utilizado foi em parcelas subdivididas, com três repetições. Nas parcelas principais, com área de 60m², foram testados os tratamentos de sistemas de preparo: plantio direto contínuo (SPD) e plantio direto com revolvimento do solo (SPDR). O revolvimento do solo foi realizado antes da aplicação do calcário e do gesso, utilizando um subsoador com distância entre as hastes de 70cm e profundidade de ação de 40cm.

Cada parcela foi dividida em quatro subparcelas com área de 15m², onde foram testados os tratamentos de aplicação de calcário e gesso agrícola de forma isolada e combinada: testemunha (sem aplicação de calcário e de gesso); 2,5t.ha⁻¹ de calcário; 2,5t.ha⁻¹ de gesso ►

Tabela 1. Caracterização dos atributos químicos e do teor de argila do solo da área experimental antes da aplicação do calcário e do gesso

Profund.	pH água	Argila	MO	V	Al	Ca	Mg	K	P	S	B	Cu	Zn	Mn
		 %			 cmol _c .dm ³						 mg.dm ³			
Até 20cm	5,5 ⁽¹⁾	61,3	1,9	61,5	0,20	5,9	1,7	0,17	2,9	26,0	0,16	9,4	2,2	42,8
20 a 40cm	5,0	64,0	2,0	50,6	0,45	5,2	1,4	0,16	2,5	38,2	0,12	7,5	2,1	72,6

⁽¹⁾ Os valores correspondem à média de três amostras.

agrícola e $2,5\text{t.ha}^{-1}$ de calcário + $2,5\text{t.ha}^{-1}$ de gesso agrícola.

A aplicação de gesso agrícola e calcário foi realizada a lanço na superfície do solo 15 dias antes da semeadura da soja. O calcário utilizado foi do tipo dolomítico com PRNT de 89%, $270,6\text{g.kg}^{-1}$ de CaO e 160g.kg^{-1} de MgO e 100% de reatividade. O gesso agrícola continha em sua composição 16% de S-SO_4^{-2} e 20% de Ca. Nas parcelas com revolvimento do solo foi utilizado um subsolador com distância entre as hastes de 70cm para romper camadas compactadas do solo maiores que 40cm. O revolvimento do solo foi realizado antes da aplicação do calcário e do gesso a lanço na superfície do solo. A dessecação da aveia utilizada como cobertura do solo na área experimental foi realizada 10 dias antes da aplicação dos tratamentos.

A semeadura da soja ocorreu dentro do período recomendado pelo zoneamento agrícola da cultura (15 de novembro de 2013), utilizando o cultivar Apolo na densidade de 290.000 sementes por hectare (poder germinativo de 90%), espaçamento de 38cm entre linhas e 11 sementes por metro linear. No momento da semeadura as sementes foram inoculadas com estirpes selecionadas de bactérias *Bradyrhizobium Elkanii*, na dose de 60g.ha^{-1} . A adubação de plantio foi de 340kg.ha^{-1} da fórmula 02-23-23 ($\text{N-P}_2\text{O}_5\text{-K}_2\text{O}$), sendo realizada na linha de semeadura. Após a maturação, a soja foi colhida manualmente em 29 de março de 2014 e trilhada. Foram colhidas as plantas das três linhas centrais, percorrendo 1m linear, perfazendo área útil de $1,14\text{m}^2$. O rendimento de grãos foi avaliado em gramas, pesando-se a produção total de cada parcela útil, a qual foi transformada para kg.ha^{-1} e corrigida para 13% de umidade.

O nabo-forrageiro para a cobertura do solo foi semeado a lanço em 5 de abril de 2014, utilizando cultivar crioulo, na dose de 20kg de sementes por hectare. Não foram realizadas adubações nem outros tratos culturais durante o ciclo da cultura. No dia 7 de junho foi realizada a dessecação da cultura do nabo para a implantação da cultura do trigo.

A semeadura do trigo, cultivar Parrudo, foi efetuada em 12 de julho de 2014, dentro do período do zoneamento da cultura, utilizando espaçamento entre

linhas de 17,5cm, 65 sementes por metro linear (85% de germinação), e população de plantas entre 300 e 330 plantas por metro quadrado. A adubação de plantio foi de 400kg.ha^{-1} da fórmula 08-28-18 ($\text{N-P}_2\text{O}_5\text{-K}_2\text{O}$), realizada na linha de semeadura. Na adubação de cobertura foram aplicados 90kg.ha^{-1} de N em aplicação única, utilizando-se a ureia como fonte de N. Após a maturação, foram colhidas as plantas de trigo das três linhas centrais, percorrendo 2m lineares, perfazendo área útil de $1,05\text{m}^2$. O rendimento de grãos foi avaliado em gramas, pesando-se a produção total de cada parcela útil, a qual foi transformada para kg.ha^{-1} e corrigida para 13% de umidade.

No decorrer do experimento foram realizadas duas amostragens do solo para avaliar as alterações nos atributos químicos nas camadas de até 20cm e de 20 a 40cm. A primeira amostragem ocorreu 8 meses após a aplicação do calcário e do gesso, realizada após a dessecação do nabo-forrageiro. A segunda amostragem ocorreu 12 meses após a aplicação dos tratamentos e coincidiu com a colheita do trigo.

A coleta de solo foi realizada com pá de corte depois de ter sido cavada uma trincheira de 45cm de comprimento no sentido perpendicular à linha de plantio. Foram coletadas cinco subamostras por subparcela nas camadas de até 20cm e de 20 a 40cm de profundidade. Após a coleta, as amostras foram secadas ao ar, destorroadas, passadas em peneira com malha de 2mm de diâmetro e acondicionadas em recipiente plástico à temperatura ambiente até a realização das análises. Nas amostras, foram determinados o pH em água, os teores de matéria orgânica, K, P, Ca, Mg, S, Mn, Cu, Zn, B, Al e H+Al, utilizando-se métodos descritos em Tedesco et al. (1995). Os teores de S-SO_4 foram determinados mediante extração pelo acetato de amônio $0,5\text{mol.L}^{-1}$ em ácido acético $0,25\text{mol.L}^{-1}$ e posterior quantificação pelo método turbidimétrico descrito por Vitti & Suzuki (1978).

Os dados foram submetidos à análise de variância e, quando observada diferença significativa, aplicou-se o teste de comparação de médias (Tukey) ao nível de 5% de probabilidade de erro. Quando a interação dos fatores testa-

dos foi significativa, realizou-se o estudo de seu desdobramento para comparar os efeitos da aplicação de gesso e calcário dentro de cada preparo do solo, e vice-versa. Na ausência de interação foram avaliados os efeitos isolados do fator preparo do solo (com e sem revolvimento) e do fator aplicação de gesso e calcário isolada e combinadamente.

Resultados e discussão

1 Influência do preparo do solo nas características químicas

O revolvimento superficial do solo em áreas de sistema plantio direto e a posterior aplicação superficial de calcário ou gesso agrícola acarretou na redução dos valores da CTC efetiva e da saturação por bases (V%) na camada de até 20cm de profundidade após o cultivo da soja (Tabela 2). A redução dos valores da CTC efetiva nessa camada superficial está relacionada ao revolvimento do solo e à semi-incorporação dos resíduos vegetais, que geram condições favoráveis à degradação da matéria orgânica e, consequentemente, decrescem os valores da CTC, ou seja, acarretam menor capacidade de retenção de cátions na fase sólida do solo na camada superficial. Como consequência, ocorreu a redução dos teores de Ca e Mg e da saturação por bases nessa camada (Tabelas 4, 5 e 2). Por outro lado, quando o manejo do solo possibilita que a matéria orgânica seja humificada, ocorre o aumento da capacidade de troca de cátions do solo e do poder tampão. Isso se deve às cargas negativas da matéria orgânica que são provenientes de íons H^+ de radicais carboxílicos e fenólicos (RONQUIM, 2010).

Os teores de Ca e Mg na camada de 20 a 40cm não aumentaram aos 8 e 12 meses após a aplicação do calcário ou gesso agrícola com o revolvimento do solo (Tabelas 4 e 5). A saturação por bases e o pH em água também não foram afetados pelo manejo do solo nessa camada (Tabelas 2 e 3).

Foi verificado aumento na disponibilidade de K na camada de até 20cm após o cultivo da soja com revolvimento do solo. No entanto, após o cultivo do trigo esse comportamento se inverteu, sendo a disponibilidade de K nas cama- ▶

Tabela 2. Atributos químicos do solo nas camadas de até 20 e de 20 a 40cm de profundidade em duas épocas de amostragem e dois preparos do solo

Variável	Profundidade (cm)	Plantio direto			
		Após 8 meses		Após 12 meses	
		SPD ⁽¹⁾	SPDR ⁽²⁾	SPD ⁽¹⁾	SPDR ⁽²⁾
MOS (%)	Até 20	2,6 a	2,5 a	2,9 a	2,9 b
	20 a 40	1,5 a	1,4 a	1,5 a	1,3 b
CTC _{efetiva} (cmol _c .dm ⁻³)	Até 20	15,0 a	12,0 b	14,1 a	13,4 a
	20 a 40	11,4 a	10,4 a	10,7 a	10,3 a
V (%)	Até 20	74 a	64 b	80 a	76 a
	20 a 40	51	51	66	64

⁽¹⁾ SPD = sistema de plantio direto, sem revolvimento do solo; ⁽²⁾ SPDR = sistema de plantio direto, com revolvimento do solo.

Nota: Médias seguidas por letras diferentes na linha diferem significativamente pelo teste de Tukey ao nível de 5%.

Tabela 3. Efeito do calcário e DO gesso agrícola sobre o pH em água nas duas camadas e épocas de amostragem após a aplicação de calcário ou gesso agrícola

Tratamento	Profundidade (cm)	pH em água					
		Após 8 meses			Após 12 meses		
		SPD ⁽¹⁾	SPDR ⁽²⁾	Média	SPD ⁽¹⁾	SPDR ⁽²⁾	Média
Testemunha	Até 20	5,8	5,8	5,8 b	6,1	5,9	5,9 b
Calcário		6,3	6,2	6,2 a	6,8	6,3	6,5 a
Gesso agrícola		5,4	5,1	5,2 b	6,2	5,8	5,9 b
Calcário + gesso		6,3	5,9	6,1 a	6,5	6,8	6,6 a
Média		5,9 A	5,7 A	-	6,4 A	6,2 A	-
Testemunha	20 a 40	5,1	5,1	5,1 b	5,5	5,1	5,3 b
Calcário		5,4	5,5	5,4 a	6,0	5,7	5,9 a
Gesso agrícola		5,2	5,2	5,2 b	5,3	5,7	5,5 ab
Calcário + gesso		5,0	5,3	5,1 b	5,7	5,6	5,6 ab
Média		5,2 A	5,3 A	-	5,6 A	5,5 A	-

⁽¹⁾ SPD = sistema de plantio direto, sem revolvimento do solo; ⁽²⁾ SPDR = sistema de plantio direto, com revolvimento do solo.

Nota: Médias seguidas por letras maiúsculas diferentes na linha e minúsculas diferentes na coluna diferem significativamente pelo teste de Tukey ao nível de 5%.

Tabela 4. Efeito do calcário e do gesso agrícola sobre os teores de Ca do solo em duas camadas, duas épocas de amostragem e dois preparos do solo

Tratamento	Profundidade (cm)	Ca (cmol _c .dm ⁻³)					
		Após 8 meses			Após 12 meses		
		SPD ⁽¹⁾	SPDR ⁽²⁾	Média	SPD	SPDR	Média
Testemunha	Até 20	8,0 Aa	6,6 Ba	7,3	7,5 Ab	5,4 Bc	6,4
Calcário		7,5 Aa	4,2 Bb	5,8	7,6 Ab	7,9 Ab	7,8
Gesso agrícola		7,2 Aa	4,6 Bb	5,9	7,1 Ab	7,0 Ab	7,0
Calcário + gesso		7,7 Aa	4,9 Bb	6,3	9,3 Aa	9,1 Aa	9,2
Média		7,6	5,1	-	7,9	7,4	-
Testemunha	20 a 40	3,5	3,3	3,4 b	4,7	3,8	4,3 b
Calcário		4,3	3,9	4,1 a	4,9	4,5	4,7 a
Gesso agrícola		3,2	3,1	3,1 b	4,4	4,8	4,6 a
Calcário + gesso		3,6	3,3	3,4 b	4,9	4,8	4,9 a
Média		3,7 A	3,4 A	-	4,7 A	4,5 A	-

⁽¹⁾ SPD = sistema de plantio direto, sem revolvimento do solo; ⁽²⁾ SPDR = sistema de plantio direto, com revolvimento do solo.

Nota: Médias seguidas por letras maiúsculas diferentes na linha e minúsculas diferentes na coluna diferem significativamente pelo teste de Tukey ao nível de 5%.

Tabela 5. Efeito do calcário e do gesso agrícola sobre os teores de Mg do solo em duas camadas, duas épocas de amostragem e dois preparos do solo

Tratamento	Profundidade (cm)	Mg (cmol _c .dm ⁻³)					
		Após 8 meses			Após 12 meses		
		SPD ⁽¹⁾	SPDR ⁽²⁾	Média	SPD	SPDR	Média
Testemunha	Até 20	3,3	3,8	3,6 a	2,9	2,1	2,5 b
Calcário		3,6	2,6	3,1 a	3,3	3,0	3,2 a
Gesso agrícola		2,8	2,0	2,4 b	2,6	2,1	2,4 b
Calcário + gesso		2,9	2,3	2,6 b	3,4	3,2	3,3 a
Média		3,2 A	2,7 B	-	3,1 A	2,6 B	-
Testemunha	20 a 40	2,9	1,9	2,4 a	2,2	1,9	2,1 a
Calcário		2,3	2,0	2,2 a	2,4	2,0	2,2 a
Gesso agrícola		1,5	1,9	1,7 b	2,0	2,1	2,1 a
Calcário + gesso		1,7	1,8	1,8 b	2,2	2,1	2,2 a
Média		2,1 A	1,9 A	-	2,2 A	2,0 A	-

⁽¹⁾ SPD = sistema de plantio direto, sem revolvimento do solo; ⁽²⁾ SPDR = sistema de plantio direto, com revolvimento do solo.

Nota: Médias seguidas por letras maiúsculas diferentes na linha e minúsculas diferentes na coluna diferem significativamente pelo teste de Tukey ao nível de 5%.

das superficial (até 20cm) e profunda (de 20 a 40cm) mais alta nas áreas sem revolvimento do solo (Tabela 6). Em relação ao percentual de MOS, após 12 meses o revolvimento do solo promoveu a redução dos valores na superfície e em profundidade (Tabela 2). O revolvimento da camada superficial favorece a aeração e expõe a matéria orgânica que está protegida fisicamente dentro dos agregados, aumentando o contato da fonte de C com os microrganismos e facilitando o consumo de C pela microbiota decompositora, com consequente liberação de CO₂ e dos nutrientes.

O SPDR apresentou teores mais altos de S-SO₄ em relação ao SPD na ca-

mada de 20 a 40cm após o cultivo do trigo, demonstrando que o revolvimento do solo possibilitou a descida mais rápida de S-SO₄ em profundidade (Tabela 7). A descida de S-SO₄ para camadas mais profundas do solo na segunda amostragem pode ter sido também facilitada pelo sistema radicular do trigo, que, comparativamente à soja, é mais profundo e fasciculado, resultando na formação de pequenos orifícios que favorecem a descida da água e dos nutrientes após sua decomposição. Após o cultivo da soja, o teor de S-SO₄ acumulado na camada de até 40cm foi de 82,8mg.dm⁻³, sendo o S-SO₄ distribuído 41% na camada de até 20cm e 59% na

camada de 20 a 40cm. Após o cultivo do trigo, embora tenha ocorrido um pequeno acréscimo no teor de S-SO₄ acumulado na camada de até 40cm, atingindo 88,6mg.dm⁻³, a descida deste para a camada de 20 a 40cm aumentou consideravelmente, correspondendo a 87% do S-SO₄ acumulado na camada de até 40cm (Tabela 7).

2 Influência do calcário e do gesso nas características químicas do solo

O aumento nos valores do pH em água com a aplicação de calcário e de calcário combinado com gesso agrícola ocorreu na camada superficial (até 20cm), independentemente do siste-

Tabela 6. Efeito do calcário e do gesso agrícola sobre os teores de K em duas camadas, duas épocas de amostragem e dois preparos de solo

Tratamento	Profundidade (cm)	K (mg.dm ⁻³)					
		Após 8 meses			Após 12 meses		
		SPD ⁽¹⁾	SPDR ⁽²⁾	Média	SPD	SPDR	Média
Testemunha	Até 20	71	136	104 b	99	99	99 c
Calcário		136	184	160 a	207	119	163 a
Gesso agrícola		78	136	107 b	146	102	124 b
Calcário + gesso		99	105	102 b	214	156	185 a
Média		96 B	140 A	-	167 A	119 B	-
Testemunha	20 a 40	27	27	27 a	27 Ab	27 Ab	27
Calcário		27	34	31 a	65 Aa	24 Bb	45
Gesso agrícola		34	27	31 a	34 Ab	34 Ab	34
Calcário + gesso		34	27	31 a	78 Aa	48 Ba	63
Média		31 A	29 A	-	51	33	-

⁽¹⁾ SPD = sistema de plantio direto, sem revolvimento do solo; ⁽²⁾ SPDR = sistema de plantio direto, com revolvimento do solo.

Nota: Médias seguidas por letras maiúsculas diferentes na linha e minúsculas diferentes na coluna diferem significativamente pelo teste de Tukey ao nível de 5%.

Tabela 7. Efeito do calcário e do gesso agrícola sobre os teores de P em duas camadas, duas épocas de amostragem e dois preparos do solo

Tratamento	Profundidade (cm)	P (mg.dm ⁻³)					
		Após 8 meses			Após 12 meses		
		SPD ⁽¹⁾	SPDR ⁽²⁾	Média	SPD	SPDR	Média
Testemunha	Até 20	4,3	6,7	5,5 b	4,5	4,5	4,5 c
Calcário		8,2	7,7	8,0 a	5,4	9,2	7,3 b
Gesso agrícola		6,2	6,5	6,4 b	6,6	6,3	6,5 b
Calcário + gesso		6,3	3,5	4,9 b	13,9	10,6	12,3 a
Média		6,3 A	6,1 A	-	7,6 A	7,7 A	-
Testemunha	20 a 40	1,8	1,6	1,7 a	1,6	2,8	2,2 b
Calcário		1,6	2,0	1,8 a	1,8	3,1	2,5 b
Gesso agrícola		1,6	1,6	1,6 a	2,2	4,0	3,1 ab
Calcário + gesso		1,6	1,9	1,8 a	3,0	4,5	3,8 a
Média		1,7 A	1,8 A	-	2,2 B	3,6 A	-

⁽¹⁾ SPD = sistema de plantio direto, sem revolvimento do solo; ⁽²⁾ SPDR = sistema de plantio direto, com revolvimento do solo.

Nota: Médias seguidas por letras maiúsculas diferentes na linha e minúsculas diferentes na coluna diferem significativamente pelo teste de Tukey ao nível de 5%.

ma de preparo utilizado, com ou sem revolvimento do solo (Tabela 3). Os acréscimos nos valores do pH foram significativos aos 8 e 12 meses após a aplicação dos tratamentos, mostrando uma tendência de aumento da primeira (após soja) para a segunda época (após trigo) de amostragem, o que demonstra que a eficiência da ação do calcário na neutralização da acidez ainda perdura após 12 meses da aplicação (Tabela 3). Com relação aos valores de pH do solo em profundidade, foi verificado que a aplicação isolada de calcário mostrou o melhor potencial em elevar o pH em ambas as amostragens (Tabela 3).

A reação do calcário no solo é influenciada pelas características do produto, modo e tempo de aplicação e pelas condições de umidade do solo, mas depende também do manejo da adubação, do sistema de rotação de culturas e coberturas, bem como da quantidade de resíduos vegetais (MIYAZAWA et al., 2002). O aumento do pH em ambas as camadas amostradas no SPD com a aplicação superficial de calcário pode ter sido decorrente do manejo e da rotação de culturas, que propiciaram a descida dele no perfil do solo (Tabela 3). Segundo Caires (2012), o deslocamento vertical do calcário no perfil do solo é atribuído à presença de canais e macroporos contínuos, à adubação nitrogenada e aos compostos orgânicos presentes em solos com plantio direto consolidado.

São poucos os trabalhos que relatam a eficiência da aplicação superficial do gesso agrícola ou a combinação do ges-

so agrícola com calcário na correção da acidez do solo. Os resultados deste trabalho indicam que a aplicação de gesso agrícola combinado com o calcário não influenciou o seu efeito em proporcionar a redução da acidez ativa (aumento do pH em água) do solo na camada de até 20cm (Tabela 3). De acordo com o esperado, a aplicação isolada de gesso agrícola tanto no SPD quanto no SPDR não mostrou potencial para redução da acidez do solo nas camadas de até 20cm e de 20 a 40cm. Também não se verificou o aumento nos teores de Ca, Mg e K na camada de 20 a 40cm de profundidade com a aplicação isolada de gesso agrícola (Tabelas 4, 5 e 6). Isso provavelmente ocorreu devido ao curto espaço de tempo entre a aplicação do gesso e a amostragem do solo.

Esses resultados são contrários aos verificados por Raij et al. (1994) e Caires et al. (1999 e 2002), que verificaram o aumento no pH em CaCl₂ do subsolo com a aplicação de gesso e atribuem esse efeito à adsorção do sulfato na superfície de óxidos hidratados de ferro e alumínio, promovendo troca de ligantes e liberando OH⁻. Entretanto, os autores destacam que o aumento do pH do subsolo tem sido de pequena magnitude (0,2 unidade).

Após 8 meses da aplicação do calcário, foi verificado o aumento na disponibilidade de fósforo na camada de até 20cm (Tabela 6). Entretanto, após 12 meses, o aumento na disponibilidade de P na camada de até 20cm foi verificado somente quando da aplicação de

calcário+gesso em ambos os sistemas de preparo do solo. O uso de corretivos de acidez, como o calcário, auxilia na diminuição da adsorção de fósforo (P) nos solos, pois com a elevação do pH ocorre aumento na solubilidade dos fosfatos de ferro e alumínio, aumentando a concentração de OH⁻ na solução de solo e reduzindo a adsorção na fase sólida do solo (CASAGRANDE & CAMARGO, 1997). Por outro lado, a aplicação do gesso contribui para o aumento nos teores de P na camada superficial do solo devido à presença de P no gesso como impureza.

A calagem (após 8 e 12 meses) e a calagem+gesso (após 12 meses) aumentaram a disponibilidade de K no solo na camada de até 20cm de profundidade em ambos os sistemas de preparo do solo (Tabela 7). A redução de perdas de potássio por lixiviação quando da realização da calagem também foi relatada por Quaggio et al. (1993) e Caires et al. (1998). Esse efeito da calagem está associado ao aumento das cargas negativas dependentes do pH e da concentração de cátions divalentes (Ca²⁺ e Mg²⁺), que podem alterar suas cargas pela formação de complexos (ML⁰ ou ML⁻, sendo M = Ca ou Mg) com ligantes orgânicos hidrossolúveis presentes nos resíduos de vegetais (MIYAZAWA et al., 1993). Assim, a carga livre seria ocupada pelo potássio (K⁺), aumentando o teor de K⁺ trocável na camada superficial do solo.

A aplicação de altas doses de calcário deve ser adotada com cautela, pois aumenta a disponibilidade de Ca e Mg ►

e estes têm afinidade pelas cargas negativas do solo, podendo deslocar o K para a solução do solo, facilitando sua lixiviação (NOGUEIRA & MOZETO, 1990). O uso do gesso nessa situação também pode colaborar para que ocorra a lixiviação de K para camadas mais profundas do solo devido à ligação do K com o sulfato. Neste estudo, foi verificado que, na ausência de revolvimento do solo, a disponibilidade de K na camada de 20 a 40cm aumentou após 12 meses da aplicação de calcário+gesso e de calcário (Tabela 6).

A disponibilidade de $S-SO_4^-$ no perfil do solo no SPD foi afetada diferentemente pela aplicação do gesso e do calcário após o cultivo da soja. A aplicação de gesso aumentou a disponibilidade de $S-SO_4^-$ no solo na camada de até 20cm, enquanto a aplicação de gesso+calcário aumentou a disponibilidade de $S-SO_4^-$ na camada de 20 a 40cm (Tabela 8). Após o cultivo do trigo, ocorreu um decréscimo nos teores de $S-SO_4^-$ na camada superficial do solo em ambos os preparos testados. Também foi verificado que o revolvimento do solo promoveu aumento na disponibilidade de $S-SO_4^-$ na camada de 20 a 40cm quando comparado ao SPD.

3 Influência do calcário e do gesso agrícola na produtividade da soja e do trigo

A produtividade da soja foi influenciada significativamente pelo sistema de preparo do solo (Tabela 9). Em condições de plantio direto contínuo ocorreu

um acréscimo de $400kg.ha^{-1}$ de grãos de soja em relação à produção alcançada com o revolvimento do solo. A produção de grãos de soja também aumentou significativamente com a aplicação de calcário+gesso agrícola quando comparada com a aplicação isolada de calcário ou de gesso (Tabela 9). Essa resposta foi observada nos dois sistemas de preparo do solo.

Neis et al. (2010) também verificaram aumento no rendimento de grãos da soja, de $440kg.ha^{-1}$, nas áreas manejadas com plantio direto contínuo quando comparado à realização de revolvimento. A ausência de revolvimento do solo no SPD promove o acúmulo de matéria orgânica, principalmente na superfície, refletindo em melhorias na agregação do solo, aumento na atividade biológica, da CTC e da disponibilidade de nutrientes para as culturas (BAYER & MIELNICZUK, 2008) e, consequentemente, do ambiente para o crescimento das raízes das plantas, o que justifica a maior produtividade da soja nesse sistema.

Com o revolvimento do solo, a produtividade média da soja foi menor, mas os acréscimos na produção de grãos devidos à aplicação de calcário (+28%), gesso agrícola (+19%) e gesso+calcário (+39%) foram superiores aos encontrados sem o revolvimento do solo, que foram de apenas 13%, 9% e 25% respectivamente. Esses resultados corroboram os obtidos por Oliveira & Pavan (1996), que verificaram, na média de quatro cultivos de soja em condições semelhantes

de solo e clima, acréscimos na produção de grãos superiores com a incorporação de calcário dolomítico (42%) em comparação com a aplicação superficial (32%).

A aplicação de gesso agrícola não influenciou no rendimento de grãos do trigo em nenhum dos dois preparos, podendo ser explicado pelos teores de S-sulfato do solo que se encontravam altos, atendendo a necessidade da cultura. A ausência de resposta ao uso do gesso agrícola foi encontrada em outros trabalhos realizados tanto em plantio direto como em áreas com revolvimento do solo (CAIRES et al., 2003; NEIS et al., 2010). A produção de grãos também não foi afetada pelo revolvimento ou não do solo quando da utilização de calcário e de calcário+gesso agrícola (Tabela 9). A aplicação de calcário+gesso aumentou a produção de grãos de trigo em $782, 770$ e $500kg.ha^{-1}$ em relação à testemunha e à aplicação isolada de gesso e de calcário respectivamente (Tabela 9).

Ressalta-se que neste trabalho foram avaliadas as alterações ocorridas nos atributos químicos do solo e na produtividade das culturas estabelecidas no primeiro ano após a aplicação do calcário ou do gesso agrícola em solo manejado com plantio direto contínuo e plantio direto com revolvimento do solo. Sendo assim, não se recomenda a extrapolação dos resultados alcançados para anos e cultivos posteriores, já que para isso seriam necessárias informações e acompanhamento dos resultados ao longo de sucessivos anos e cultivos.

Tabela 8. Efeito do calcário e do gesso agrícola sobre os teores de $S-SO_4$ em duas camadas, duas épocas de amostragem e dois preparos do solo

Tratamento	Profundidade (cm)	$S-SO_4$ (mg.dm ⁻³)					
		Após 8 meses			Após 12 meses		
		SPD ⁽¹⁾	SPDR ⁽²⁾	Média	SPD	SPDR	Média
Testemunha	Até 20	27,8 Bb	40,1 Aa	34,0	4,5	10,3	7,4 b
Calcário		20,4 Bb	34,4 Ab	27,4	3,6	6,3	5,0 b
Gesso agrícola		42,3 Aa	36,0 Ab	39,2	11,5	15,4	13,4 a
Calcário + gesso		29,1 Ab	24,4 Ac	26,8	7,8	13,2	10,5 a
Média		29,9	33,7	-	6,9 B	11,3 A	-
Testemunha	20 a 40	27,5 Bc	40,4 Ab	34,0 c	57,0 Bb	85,6 Aa	71,3
Calcário		46,5 Ab	41,1 Ab	43,8 b	32,1 Bc	54,1 Ac	43,1
Gesso agrícola		50,8 Ab	44,9 Ab	47,9 b	74,0 Aa	75,9 Ab	75,0
Calcário + gesso		74,6 Aa	70,0 Aa	72,3 a	57,0 Bb	93,7 Aa	75,4
Média		49,9	49,1	-	55,0	77,3	-

⁽¹⁾ SPD = sistema de plantio direto, sem revolvimento do solo; ⁽²⁾ SPDR = sistema de plantio direto, com revolvimento do solo.

Nota: Médias seguidas por letras maiúsculas diferentes na linha e minúsculas diferentes na coluna diferem significativamente pelo teste de Tukey ao nível de 5%.

Tabela 9. Produtividade de grãos de soja e de trigo cultivados no SPD contínuo e com revolvimento do solo em resposta à aplicação de calcário e gesso agrícola

Preparo do solo	Testemunha	Calcário	Gesso	Calcário+Gesso	Média
..... Produtividade de grãos da soja (kg.ha ⁻¹)					
SPD contínuo	2.540	2.941	2.789	3.377	2.911 a
SPD com revolvimento	1.909	2.666	2.361	3.123	2.514 b
Média	2.224 C	2.803 B	2.575 BC	3.250 A	
..... Produtividade de grãos da trigo (kg.ha ⁻¹)					
SPD contínuo	2.731 Ba	2.935 Ba	2.817 Ba	3.442 Aa	2.981
SPD com revolvimento	2.676 Ca	3.046 Ba	2.614 Cb	3.528 Aa	2.996
Média	2.703	2.991	2.715	3.485	

Nota: Médias seguidas por letras maiúsculas diferentes na linha e minúsculas diferentes na coluna diferem significativamente pelo teste de Tukey ao nível de 5%.

Conclusões

O calcário, combinado ou não com o gesso agrícola, aumentou o pH e a disponibilidade de P e K na camada superficial do solo após 8 e 12 meses da aplicação e se mostrou a melhor opção para atingir as mais altas produções de grãos de soja e trigo em condições de revolvimento ou não do solo em área de plantio direto.

O plantio direto contínuo promoveu maior rendimento de grãos de soja em relação ao revolvimento do solo.

O rendimento de grãos de trigo não foi afetado pelo tipo de preparo do solo.

Referências

- BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: SANTOS, G.A. et al. (Eds.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. 2.ed. Porto Alegre: Metrópole, 2008. p.7-18.
- CAIRES, E.F.; CHUEIRI, W.A.; MADRUGA, E.F.; FIGUEIREDO, A. Alterações de características químicas do solo e resposta da soja ao calcário e gesso aplicados na superfície em sistema de cultivo sem preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.22, p.27-34, 1998.
- CAIRES, E.F.; FONSECA, A.F.; MENDES, J.; CHUEIRI, W.A.; MADRUGA, E.F. Produção de milho, trigo e soja em função das alterações das características químicas do solo pela aplicação de calcário e gesso na superfície em sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.23, p.315-327, 1999.
- CAIRES, E.F.; FELDHAUS, I.C.; BARTH, G.; GARBUIO, F.J. Lime and gypsum application on the wheat crop. **Scientia Agrícola**, v.59, p.357-364, 2002.
- CAIRES, E.F.; BLUM, J.; BARTH, G.; GARBUIO, F.J.; KUSMAN, M.T. Alterações químicas do solo e resposta da soja ao calcário e gesso aplicados na implantação do sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, p. 275-286, 2003.
- CAIRES, E.F. Calagem e uso de gesso em Sistema Plantio. **Revista Plantio Direto**, v.128, p.1-11, 2012.
- CASAGRANDE, J.C.; CAMARGO, O.A. Adsorção de fosfato em solos com caráter ácrico avaliada por um modelo de complexação de superfície. **Revista Brasileira de Ciência Solo**, v.21, p.353-360, 1997.
- CASSOL, L.C. **Características físicas e químicas do solo e rendimento de culturas após a reaplicação de calcário, com e sem incorporação, em sistemas de preparo**. 98p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS. 1995.
- DALLA NORA, D.; AMADO, T.J.C. Improvement in chemical attributes of oxisol subsoil and crop yields under no-till. **Agronomy Journal**, v.105, p.1393-1403, 2013.
- MIYAZAWA, M.; PAVAN, M.A.; CALEGARI, A. Efeito de material vegetal na acidez do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.17, p.411-416, 1993.
- MIYAZAWA, M.; PAVAN, M.A.; FRANCHINI, J.C. Evaluation of plant residues on the mobility on surface applied lime. **Brazilian Archives Biology Technology**, v.45, p.251-256, 2002.
- NEIS, L.; PAULINO, H.B.; SOUZA, E.D.; REIS, E.F.; PINTO, F.A. Gesso agrícola e rendimento de grãos de soja na região sudoeste de Goiás. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34, p.409-416, 2010.
- NOGUEIRA, A.R.A.; MOZETO, A.A. Interações químicas do sulfato e carbonato de cálcio em seis solos paulistas sob vegetação de cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.14, p.1-6, 1990.
- QUAGGIO, J.A.; RAIJ, B.; GALLO, P.B.; MASCARENHAS, H.A.A. Respostas da soja à aplicação de calcário e gesso e lixiviação de íons no perfil do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.28, p.375-383, 1993.
- OLIVEIRA, E.L.; PAVAN, M.A. Control of soil acidity in no-tillage system for soybean production. **Soil and Tillage Research**, Amsterdã, v.38, p.47-57, 1996.
- RAIJ, B. van; MASCARENHAS, H.A.A.; PEREIRA, J.C.V.N.A.; IGUE, T.; SORDI, G. Efeito de calcário e de gesso para soja cultivada em Latossolo roxo ácido saturado com sulfato. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.18, p.305-312, 1994.
- RONQUIM, C.C. **Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais**. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2010. 26p.
- SANTOS, H.G.; JACOMINE, P.K.T.; ANJOS, L.H.C.; OLIVEIRA, V.A.; LUMBRERAS, J.F.; COELHO, M.R.; ALMEIDA, J.A.; CUNHA, T.J.F.; OLIVEIRA, J.B. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3.ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2013. 353p.
- SUMNER, M.E. Amelioration of subsoil acidity with minimum disturbance. In: JAYAWARDANE, N.S. & STEWART, B.A. (Eds.). **Subsoil management techniques**. Athens, GA: Lewis Publishers, 1995. p.147-185.
- TEDESCO, M.J.; GACONELLO, C.; BISSANI, C.A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S.J. **Análise de solo, planta e outros materiais**. 2.ed. Porto Alegre: Departamento de Solo da Faculdade de Agronomia da UFRGS, 1995. 147p.
- VITTI, G.C.; SUZUKI, J.A. **A determinação do enxofre – sulfato pelo método turbidimétrico**. Jaboticabal: Universidade Estadual de São Paulo, 1978. 13p. (Apostila). ■