

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/331174648>

Gesso: Alternativa para redistribuir verticalmente nutrientes no perfil do solo sob sistema plantio direto*

Article · February 2013

CITATIONS

11

READS

708

5 authors, including:



Telmo Jorge Carneiro Amado
Universidade Federal de Santa Maria

258 PUBLICATIONS 3,716 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



Vitor Cauduro Girardello
Universidade Federal de Santa Maria

21 PUBLICATIONS 164 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](#)

Gesso: Alternativa para redistribuir verticalmente nutrientes no perfil do solo sob sistema plantio direto*

Douglas Dalla Nora¹, Telmo Jorge Carneiro Amado², Vitor Cauduro Girardello³ e Carlos Mertins⁴

Introdução

A adoção do Sistema Plantio Direto (SPD), juntamente com às novas tecnologias, tem proporcionado o incremento da produtividade das culturas de grão no Brasil. No período compreendido entre 1990/91 a 2012/13 a produção agrícola cresceu 212% e a produtividade 127%, enquanto a área plantada cresceu 37%. A expansão da área do SPD a partir da década de noventa alcançou uma área entre 26 a 32 milhões de hectares no Brasil (Caires, 2012; Anjos et al., 2012). Dentre as vantagens do sistema conservacionista para a qualidade do solo destacam-se o controle do processo erosivo (Cogo et al., 2003), o aumento e a manutenção da matéria orgânica do solo (MOS) (Bayer et al., 2011), o aumento da água disponível e redução da temperatura do solo (Amado et al., 2009) e a maior atividade biológica e nutrientes disponíveis para as plantas (Caires et al., 2005).

A correção da acidez em solos manejados sob SPD, geralmente, é realizada a partir da análise de uma camada superficial (0-0,10 m) com aplicação, na superfície do solo, de corretivos com dose reduzida e parcelada ao longo do tempo. O calcário, principal corretivo, tem como característica a baixa solubilidade em água fazendo com que a melhoria da qualidade química do solo

seja restrita às camadas superficiais, sem a melhoria das camadas mais profundas do solo, definidas como abaixo de 0-0,20 m (Rampim et al., 2011). A movimentação vertical de bases é dependente da lixiviação de sais no perfil, processo que é lento e condicionado pela frequência e dose de corretivo utilizado (Caires et al., 2003).

Mundialmente, a ocorrência de subsolos ácidos característicos dos Latossolos distróficos tem sido referida como um dos principais fatores limitante à obtenção e manutenção de elevadas produtividades das culturas de grãos (Shainberg et al., 1989), devido a ocorrência de elevados teores de alumínio (Al^{3+}) e baixas concentrações de cálcio (Ca^{2+}) os quais prejudicam o desenvolvimento radicular das culturas. Os Latossolos por serem profundos e bem drenados oferecem condições físicas ao aprofundamento do sistema radicular (Figura 1), porém este fato muitas vezes não ocorre devido ao impedimento químico (Figura 2) (Oliveira et al., 2009). A ocorrência de déficit hídrico associadas a restrições ao desenvolvimento das raízes são um dos principais desafios a serem contornados para a sustentação de altas produtividades (Farina et al., 2000).

O SPD por não revolver o solo e inverter camadas tende a formar uma superfície quimicamente en-

¹Graduando em Agronomia, Bolsista do CNPq, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria-RS.
e-mail: douglasdnpg@gmail.com.

²Professor Titular do Departamento de Solos, Bolsista do CNPq, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria-RS.
e-mail: florestatel@hotmail.com.

³Doutorando em Agronomia, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria-RS.
e-mail: vitorgirardello@gmail.com.

⁴Eng. Agrº, COTRIJAL, Carazinho-RS.
e-mail: cmertins@cotrijal.com.br.

*Trabalho apresentado na Casa do Plantio Direto na Expodireto 2013.



Figura 1. Perfil de solo de Latossolo distrófico manejado sob sistema plantio direto. Fonte: Dirceu Gassen.

riquecida, porém a melhoria das camadas profundas depende da rotação de culturas e da fertilização utilizada. Ainda, o histórico de calagem e de incorporação influencia a correção do perfil. No entanto, destaca-se que muitas das áreas sob SPD já se encontram há mais de 20 anos sem mobilização. Na Figura 3 são apresentados resultados de análise química da camada superficial e da subsuperficial em Latossolo distrófico do planalto do RS manejado sob SPD.

Como alternativa para redução da atividade do Al^{3+} e aumento dos teores de Ca^{2+} e magnésio (Mg^{2+}) em camadas subsuperficiais do perfil, o gesso ($CaSO_4$), subproduto da indústria do ácido fosfórico, vem sendo frequentemente aplicado em lavouras de grãos no Brasil (Raij et al., 2010). Devido a sua rápida solu-

bilização o gesso proporciona rápido e grande incremento do teor de Ca^{2+} trocável na solução do solo que induz o deslocamento de Al^{3+} , Mg^{2+} e potássio (K^+) do complexo de troca. Uma vez em solução, estes cátions ficam sujeitos ao deslocamento vertical pela água de drenagem no perfil do solo, especialmente o Ca^{2+} e Mg^{2+} , devido sua afinidade na formação do par iônico com o sulfato (Sumner et al., 1995). Além disso, o gesso favorece a formação do sulfato de Al , composto menos tóxico às plantas (Favaretto et al. 2008). Como consequência destes processos, verifica-se uma redistribuição vertical de nutrientes no perfil do solo, elevando assim, a saturação por bases (V%) das camadas subsuperficiais (Raij, 2010). A partir da elevação da concentração das bases trocáveis

e o decréscimo da atividade de Al , as camadas mais profundas do perfil passam a apresentar condições favoráveis ao aprofundamento radicular, resultando em maior aproveitamento da água armazenada no solo, com reflexo positivo na produtividade das culturas, principalmente em condições de déficit hídrico de curta duração (Ritchey et al., 1980).

No Cerrado brasileiro vários trabalhos relataram o efeito do gesso agrícola como melhorador das condições subsuperficiais do solo e, conseqüentemente, da produtividade das culturas de grãos (Sousa et al., 1995; Sousa & Lobato, 2004). No Rio Grande do Sul (RS), tais resultados não estão disponíveis, nem estão definidos os parâmetros para a tomada de decisão sobre o uso desse insumo. Com o intuito de investigar



Figura 2. Desenvolvimento radicular da cultura da soja sob sistema plantio direto em um Latossolo distrófico. Não-Me-Toque, RS.

o uso do gesso de forma isolado ou combinado com o calcário, experimentos em rede estão sendo conduzidos em colaboração com produtores e Cooperativas com coordenação do setor de manejo e conservação da UFSM. Neste trabalho serão apresentados alguns dos resultados obtidos.

Descrição dos experimentos avaliados

Para realização do presente estudo, foram conduzidos dois experimentos no município de Carazinho

(RS) em duas propriedades comerciais vinculadas a Cotrijal. A primeira área experimental situa-se na propriedade pertencente ao Sr. Luciano Mattos e a segunda ao Sr. Valdir Ahlert. O solo em ambas as áreas foi Latossolo Vermelho distrófico, segundo a classificação brasileira (Embrapa, 2006). Na Tabela 1 são apresentadas as características químicas quando do estabelecimento dos experimentos. As aplicações dos tratamentos foram realizadas ainda no ano de 2009 completando no início de 2012, trinta meses de condução dos

Tabela 1. Atributos químicos avaliados antes da implantação dos experimentos em dois Latossolos. Carazinho, RS.

| Profundidade metros | pH _{H2O} | Al | Ca | Mg | K | Ca/Mg | Ca+Mg/K | CTC _{pH7,0} | P ¹ | S ² | V | m ³ | Argila |
|-----------------------------------|-------------------|--|-----|-----|------|-------|---------|----------------------|-------------------------------|----------------|------|----------------|--------------------|
| | | cmol _c dm ⁻³ | | | | | | | mg dm ⁻³ | % | | | g kg ⁻¹ |
| Primeira área experimental | | | | | | | | | | | | | |
| 0,0-0,10 | 5,6 | 0,0 | 4,1 | 3,4 | 0,36 | 1,2 | 20,1 | 15,2 | 38,5 | 6,8 | 67,8 | 0,0 | 410 |
| 0,10-0,20 | 5,3 | 0,3 | 3,2 | 3,0 | 0,18 | 1,1 | 34,5 | 14,9 | 8,9 | 5,2 | 54,2 | 3,2 | 500 |
| 0,20-0,40 | 4,8 | 0,8 | 1,7 | 2,5 | 0,09 | 0,7 | 46,6 | 15,6 | 1,3 | 6,3 | 34,1 | 13,2 | 570 |
| 0,40-0,60 | 4,4 | 0,9 | 1,5 | 2,1 | 0,07 | 0,7 | 51,4 | 15,3 | 0,8 | 5,8 | 30,8 | 16,0 | 620 |
| Segunda área experimental | | | | | | | | | | | | | |
| 0,0-0,10 | 5,6 | 0,0 | 7,7 | 3,8 | 0,26 | 2,02 | 44,2 | 11,86 | 23,4 | 13,2 | 72,0 | 0,0 | 540 |
| 0,10-0,20 | 5,0 | 0,7 | 4,2 | 2,4 | 0,08 | 1,75 | 82,2 | 7,73 | 8,3 | 8,2 | 42,0 | 13,0 | 630 |
| 0,20-0,40 | 4,6 | 3,1 | 2,2 | 1,2 | 0,04 | 1,83 | 85,0 | 6,77 | 3,4 | 17,0 | 21,0 | 47,0 | 680 |
| 0,40-0,60 | 4,4 | 3,7 | 1,4 | 0,9 | 0,04 | 1,55 | 57,5 | 6,18 | 1,8 | 31,0 | 13,0 | 61,0 | 700 |

¹ Fósforo, ² Enxofre, ³ Saturação por Al

experimentos. As áreas experimentais vinham sendo manejadas sob SPD a mais de 20 anos, recebendo doses entorno de 2,0 t ha⁻¹ de calcário com PRNT de 80% espaçadas em intervalos regulares de 4 a 5 anos.

O delineamento experimental utilizado em ambos os experimentos foi de blocos ao acaso com três repetições. Cada parcela experimental possuía uma área de 64 m², com dimensões de 8 x 8 m. Na primeira área experimental foram implantadas doses isoladas de gesso: 0,0; 1,0; 3,0 e 5,0 t ha⁻¹. Na segunda os tratamentos receberam doses de gesso combinadas com calcário: 2,5 t de gesso + 2,0 de calcário; 5,0 t de gesso + 2,0 de calcário além de uma parcela testemunha. A utilização de calcário na segunda área deveu-se a inferior qualidade química da camada subsuperficial.

Para fins de comparação, a determinação da dose de gesso recomendada foi estabelecida a partir da equação (1) de Quaggio & Raij (1996) onde:

$$NG = \text{argila} \times 6,0 \quad (1)$$

NG = necessidade de gesso em kg ha⁻¹;
Argila = conteúdo de argila no solo g kg⁻¹

Esta equação é recomendada quando os teores de Ca são inferiores a 0,4 cmol_c dm⁻³ e a saturação por Al é superior a 40% na camada de 0,20-0,40 m (Raij, 2010). Na primeira área, nenhum desses critérios foram atendidos, entretanto, na segunda apenas a saturação por Al era ligeiramente acima do estabelecido (47%) (Tabela 1). Outras recomendações sugerem que a aplicação de gesso deva ser realizada a partir da análise de solo na profundidade de 0,30 a 0,50 m, em que a saturação por alumínio seja maior que 20% e/ou quando a saturação do Ca for menor que 60% (Embrapa, 2004).

Com o intuito de avaliar o efeito do gesso em situações de severo déficit hídrico, foram instaladas câmaras de exclusão de precipitação



0,0 - 0,05 m
de profundidade

pH H₂O = 5,7
Ca = 7,7 cmol_c dm⁻³
Mg = 3,8 cmol_c dm⁻³
Al = 0,0 cmol_c dm⁻³
K = 140,0 mg dm⁻³
P = 23,1 mg dm⁻³
V% = 72,0%
m% = 13,0%
S = 13,2 mg dm⁻³



0,20 - 0,45 m
de profundidade

pH H₂O = 4,6
Ca = 2,2 cmol_c dm⁻³
Mg = 1,2 cmol_c dm⁻³
Al = 3,1 cmol_c dm⁻³
K = 15,6 mg dm⁻³
P = 3,4 mg dm⁻³
V% = 21,0%
m% = 47,0%
S = 15,0 mg dm⁻³

Figura 3. Camada superficial (a) e camada subsuperficial (b) de um Latossolo em Carazinho.

na cultura da soja durante a safra de 2011/12. Tais câmaras consistiram de faixas plásticas montadas sobre uma estrutura de madeira que excluía aproximadamente 30% da precipitação.

As análises químicas e físicas foram realizadas conforme Tedesco et al. (1995) e os resultados de produtividade de grãos são referentes às culturas de milho e soja avaliados em área central com 4 m lineares. Os resultados foram ajustados para 13% de umidade e submetidos à análise de variância pelo programa SISVAR 5.3, (Ferreira, 2010) utilizando o teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Resultados e Discussão

Melhoria dos atributos químicos do solo

Os resultados de análise do solo são referentes avaliações transcorridas trinta meses após a aplicação do gesso isolado e combinado com calcário. Os resultados referentes à produtividade das culturas foram obtidos no período compreendido entre 2009 a 2012, no qual cada área experimental recebeu três safras de grãos.

A mobilidade dos íons, conforme os resultados apresentados nas Tabelas 2 e 3 foram muito semelhan-

Tabela 2. Atributos da fertilidade do solo trinta meses após a aplicação superficial de gesso sob sistema plantio direto na primeira área experimental. Carazinho, RS.

| Profundidade metros | Tratamentos t ha ⁻¹ | K mg dm ⁻³ | Ca cmol _c dm ⁻³ | Mg cmol _c dm ⁻³ | Ca/Mg | (Ca+Mg)/K | Al cmol _c dm ⁻³ | S mg dm ⁻³ |
|---------------------|--------------------------------|-----------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|-------------|-------------|---------------------------------------|-----------------------|
| Luciano Mattos | | | | | | | | |
| 0,0-0,05 | 0,0 | 214 | 7,2 | 3,8 | 1,9 | 19,9 | 0,1 | 6,1 |
| | 1,0 | 191 | 7,9 | 3,1 | 2,5 | 26,7 | 0,0 | 9,8 |
| | 3,0 | 222 | 10,0 | 3,3 | 3,0 | 23,4 | 0,0 | 12,3 |
| | 5,0 | 234 | 10,2 | 3,3 | 3,1 | 20,0 | 0,0 | 12,9 |
| 0,5-0,10 | 0,0 | 141 | 6,4 | 3,7 | 1,8 | 27,9 | 0,1 | 7,0 |
| | 1,0 | 104 | 7,7 | 3,2 | 2,4 | 41,0 | 0,0 | 7,1 |
| | 3,0 | 102 | 8,6 | 3,3 | 2,6 | 50,7 | 0,0 | 10,9 |
| | 5,0 | 168 | 9,2 | 3,2 | 2,9 | 29,0 | 0,0 | 13,1 |
| 0,10-0,15 | 0,0 | 91 | 5,4 | 3,6 | 1,5 | 34,7 | 0,2 | 6,6 |
| | 1,0 | 72 | 5,8 | 2,9 | 2,0 | 47,2 | 0,2 | 7,7 |
| | 3,0 | 80 | 6,9 | 3,2 | 2,2 | 49,2 | 0,1 | 11,3 |
| | 5,0 | 110 | 7,3 | 3,4 | 2,2 | 37,6 | 0,0 | 14,1 |
| 0,15-0,25 | 0,0 | 66 | 4,7 | 3,3 | 1,4 | 47,1 | 0,4 | 6,8 |
| | 1,0 | 48 | 4,6 | 2,9 | 1,6 | 61,0 | 0,6 | 7,9 |
| | 3,0 | 49 | 6,1 | 3,1 | 2,0 | 73,3 | 0,1 | 11,8 |
| | 5,0 | 94 | 6,4 | 3,3 | 1,9 | 40,1 | 0,1 | 14,5 |
| 0,25-0,40 | 0,0 | 46 | 3,4 | 2,8 | 1,2 | 51,8 | 1,2 | 6,6 |
| | 1,0 | 48 | 3,6 | 2,5 | 1,4 | 62,4 | 0,9 | 9,7 |
| | 3,0 | 37 | 4,5 | 3,2 | 1,4 | 80,0 | 0,4 | 12,9 |
| | 5,0 | 54 | 5,3 | 3,3 | 1,6 | 61,4 | 0,3 | 17,2 |
| 0,40-0,60 | 0,0 | 33 | 2,7 | 2,6 | 1,0 | 62,5 | 1,3 | 6,7 |
| | 1,0 | 24 | 3,3 | 2,4 | 1,4 | 92,3 | 1,2 | 12,7 |
| | 3,0 | 24 | 3,4 | 2,9 | 1,2 | 103,6 | 0,7 | 29,6 |
| | 5,0 | 26 | 4,1 | 2,9 | 1,4 | 102,5 | 0,5 | 35,0 |
| DMS | | 14,9 | 0,57 | 0,73 | 0,56 | 12,5 | 0,16 | 5,6 |

tes em ambas às áreas experimentais. Os teores de K⁺, independente da área investigada, praticamente não foram influenciados pelas doses de gesso isoladas ou combinadas com calcário. A reduzida lixiviação de K⁺ associada as aplicações de gesso pode ser consequência do teor de argila, do elevado teor de carbono e da CTC na camada superficial, na qual encontram-se os maiores teores deste nutriente, além da intensa ciclagem de nutrientes pelo uso de culturas de cobertura e a intensificação do sistema de culturas preconizado no SPD (Amado et al., 2006).

O expressivo incremento dos teores de Ca²⁺, praticamente em todo o perfil, foi observado em ambos os experimentos. Na primeira

área experimental, a maior dose de gesso (5,0 t) resultou em um incremento de 56% no teor de Ca²⁺ para a camada de 0,25-0,40 m (Tabela 2). Já, na segunda, foi verificado, para a maior dose de gesso combinada com calcário, um aumento de 136% no teor deste cátion nesta mesma camada (Tabela 3), indicando um elevado movimento vertical do Ca²⁺ no perfil do solo. Resultados semelhantes foram anteriormente reportados em pesquisas realizadas sob Latossolos do Paraná (Caires et al., 2003).

Os teores de Mg²⁺ apresentaram, nas doses mais elevadas de gesso, pequeno decréscimo na camada superficial com consequente incremento dos teores nas camadas mais profundas do solo, resultando na re-

Tabela 3. Atributos da fertilidade do solo trinta meses após a aplicação superficial de gesso combinado com calcário sob sistema plantio direto na segunda área experimental. 2012.

| Profundidade metros | Tratamentos t ha ⁻¹ | K mg dm ⁻³ | Ca cmol _c dm ⁻³ | Mg cmol _c dm ⁻³ | Ca/Mg | (Ca+Mg)/K | Al cmol _c dm ⁻³ | S mg dm ⁻³ |
|---------------------------|--------------------------------|-----------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|-------------|-------------|---------------------------------------|-----------------------|
| Segunda área experimental | | | | | | | | |
| 0,0-0,05 | 0,0 | 136 | 7,7 | 4,4 | 1,8 | 34,5 | 0,1 | 13,2 |
| | 2,5 gesso + 2,0 calc | 133 | 10,2 | 4,0 | 2,6 | 41,5 | 0,0 | 16,3 |
| | 5,0 gesso + 2,0 calc | 123 | 12,1 | 4,3 | 2,8 | 52,1 | 0,0 | 19,1 |
| 0,5-0,10 | 0,0 | 80 | 6,2 | 3,7 | 1,7 | 48,0 | 0,4 | 12,9 |
| | 2,5 gesso + 2,0 calc | 78 | 9,1 | 3,5 | 2,6 | 62,9 | 0,0 | 15,7 |
| | 5,0 gesso + 2,0 calc | 82 | 10,6 | 4,0 | 2,7 | 69,4 | 0,0 | 20,1 |
| 0,10-0,15 | 0,0 | 43 | 4,8 | 3,1 | 1,5 | 71,6 | 1,4 | 11,9 |
| | 2,5 gesso + 2,0 calc | 48 | 6,4 | 3,3 | 2,0 | 78,3 | 0,3 | 14,7 |
| | 5,0 gesso + 2,0 calc | 68 | 8,7 | 3,9 | 2,2 | 71,4 | 0,1 | 27,0 |
| 0,15-0,25 | 0,0 | 29 | 3,2 | 2,3 | 1,4 | 74,3 | 1,9 | 10,7 |
| | 2,5 gesso + 2,0 calc | 27 | 5,2 | 2,7 | 1,9 | 112,7 | 1,1 | 14,7 |
| | 5,0 gesso + 2,0 calc | 31 | 6,7 | 3,6 | 1,9 | 127,6 | 1,0 | 41,1 |
| 0,25-0,40 | 0,0 | 20 | 2,1 | 1,8 | 1,1 | 73,5 | 3,5 | 10,0 |
| | 2,5 gesso + 2,0 calc | 20 | 3,2 | 2,9 | 1,1 | 115,9 | 2,4 | 28,9 |
| | 5,0 gesso + 2,0 calc | 28 | 4,9 | 2,6 | 1,8 | 104,7 | 1,8 | 78,1 |
| 0,40-0,60 | 0,0 | 14 | 1,6 | 0,9 | 1,8 | 68,9 | 4,0 | 9,7 |
| | 2,5 gesso + 2,0 calc | 16 | 2,4 | 2,8 | 0,9 | 121,4 | 2,6 | 26,7 |
| | 5,0 gesso + 2,0 calc | 16 | 3,1 | 2,4 | 1,3 | 133,1 | 2,8 | 77,1 |
| DMS | | 12,3 | 0,25 | 0,21 | 0,59 | 17,5 | 0,21 | 7,8 |

distribuição vertical desse nutriente no perfil do solo. Este resultado se deve a formação do par iônico sulfato de Mg (Zambrosi et al., 2007). Esse movimento vertical do Mg²⁺ no perfil do solo não é prejudicial a nutrição das plantas, desde que o teor crítico para a cultura seja mantido, em razão disso, em solos com baixo teor deste cátion não é recomendado o uso isolado do gesso e sim associado com o calcário dolomítico (Raij, 2010). O incremento dos teores de cátions básicos em profundidade em Latossolos distróficos manejados sob SPD é importante para o decréscimo do impedimento químico ao desenvolvimento radicular (Foloni & Rosolem, 2006).

O decréscimo dos teores de Al³⁺ foi verificado, em ambos os experimentos, em todo o perfil do solo, tendo maior magnitude nas camadas mais profundas (Tabelas 2 e 3). Esse decréscimo dos teores de Al³⁺ trocável, provavelmente, seja decorrente do aumento dos teores

de Ca²⁺ que deslocam o Al³⁺ para a solução do solo, sendo este temporariamente imobilizado pelo ânion sulfato proveniente da aplicação do gesso (Pavan et al., 1984). O efeito tóxico do Al³⁺ trocável presente nas camadas superficiais às plantas tem ocorrido em menor intensidade sob SPD quando comparado ao sistema de preparo convencional. Esse resultado é decorrente da menor concentração de espécies tóxicas de Al como é o caso do Al³⁺ e AlOH²⁺ e maior concentração de Al complexado com ligantes orgânicos sob SPD (Salet et al., 1999; Miyazawa et al., 2002). Entretanto, a atividade do Al em subsuperfície praticamente não é alterada pelo sistema de preparo, atuando negativamente sobre o desenvolvimento das raízes. Com isto, a gessagem por proporcionar o movimento descente de cátions e ânions constitui-se uma importante alternativa para a melhoria da qualidade do SPD contínuo (Farina et al.,

2000; Foloni & Rosolem, 2006; Caires et al., 2012).

Devido ao incremento dos teores de Ca^{2+} e redistribuição de Mg^{2+} , as relações Ca/Mg e $(\text{Ca}+\text{Mg})/\text{K}$ foram alteradas ao longo do perfil dos solo. Para a camada superficial, na primeira área experimental a relação Ca/Mg do tratamento sem gesso era de 1,9 enquanto a relação $(\text{Ca}+\text{Mg})/\text{k}$ era de 19,9. Já, para a segunda área essas relações foram de 1,8 e 34,5, respectivamente. Conforme Hernandez & Silveira (1998) a relação Ca/Mg ideal situa-se na faixa de 3:1 e a relação $(\text{Ca}+\text{Mg})/\text{k}$ conforme Escosteguy (2012) situa-se entre 17-35. As doses de gesso mais elevadas tornaram a relação Ca/Mg mais adequada ao longo do perfil, porém a relação $(\text{Ca}+\text{Mg})/\text{K}$ situou-se acima do limite estabelecido como crítico (Tabelas 2 e 3). Este fato, foi mais intenso na segunda área quando em praticamente todo o perfil esta relação de cátions ficou fora da faixa preconizada.

O gesso é um sal neutro, sendo assim, não são esperados efeitos diretos no aumento do pH do solo, entretanto, devido a elevada concentração do ânion SO_4^{-2} decorrente da gessagem, reações de troca de ligantes envolvendo óxidos hidratados de Fe e Al podem ocorrer notadamente em Latossolos. Com isto, verifica-se o deslocamento de OH^- para a solução do solo, que promove ligeiro incremento do pH e a neutralização parcial da acidez (Reeve & Sumner, 1972). Nos resultados reportados na

primeira área experimental foram observadas estas reações, ocorrendo aumento do pH do solo, principalmente nas camadas subsuperficiais (Figura 4a). No entanto, conforme os resultados apresentados na Figura 4b constata-se que a combinação de gesso com calcário proporcionou melhores condições para que o calcário atuasse na solução do solo e aumentasse o pH, potencializando assim a ação do gesso na camada subsuperficial (Market et al., 1987; Raij, 2010).

A aplicação superficial de gesso isolado ou combinado com calcário geralmente induziu aumento dos teores de P ao longo do perfil. Este incremento na camada superficial pode ser atribuído a pequena concentração de P ($\cong 1,0\%$) presente como impureza no gesso (Caires et al., 2003) (Figura 4). Assim, mesmo em pequena concentração uma dose de 5 t ha^{-1} de gesso pode representar um aporte de 50 kg ha^{-1} de P. Já, o aumento do P, em camadas mais profundas do perfil do solo, pode estar relacionado a elevação do pH com aumento do P disponível (Bissani et al., 2008) ou o efeito do aprofundamento das raízes que ao se decompor liberam este nutriente.

Efeitos do gesso no equilíbrio de bases no complexo de troca

As doses de gesso foram determinantes para o aumento da saturação de bases (V%) e da saturação de Ca e decréscimo da saturação de Al ao longo do perfil, importantes atributos da caracterização da qualidade química do solo.

No tratamento com a maior dose de gesso (5,0 t), na primeira área experimental, foi constatado que a V% manteve-se superior a 65% até a camada de 0,25 m, enquanto que na parcela testemunha o V% situou-se acima deste valor apenas até a profundidade de 0,10 m (Figura 5a), sendo esse, o limite crítico para recomendação de calcário de acordo com a CQFS-RS/SC (2004). Para essa mesma dose de gesso combinada com calcário, na segunda área expe-

Faça você mesmo o mapeamento de sua área!



Telefone: (51) 2102 7100

allcomp
geotecnologia e agricultura

Av. Pernambuco, 1207 | Porto Alegre/RS | agricultura@allcompgps.com.br | www.allcompgps.com.br

rimental, o V% manteve-se acima de 65% até a camada de 0,15 m, entretanto a parcela testemunha já se encontrava com valores inferiores a 65% já aos 0,05 m de profundidade (Figura 5b).

De acordo com a CQFS-RS/SC, (2004), o valor crítico de saturação por Al é 10% na camada de 0,10 m. Na primeira área experimental (Figura 5a), esse parâmetro, para a dose

mais elevada de gesso, se manteve abaixo do limite crítico em todo o perfil do solo, enquanto a parcela testemunha já apresentava valores acima desse limite a partir da camada de 0,15 m (Figura 5a). Na segunda área experimental, onde a situação inicial era mais crítica quanto aos atributos da acidez do solo, a parcela testemunha apresentou saturação de Al superior ao limite crítico ime-

diatamente após 0,10 m, enquanto o tratamento que recebeu a maior dose de gesso combinada com calcário manteve a saturação abaixo desse limite até a camada de 0,25 m (Figura 5b). Resultados reportando incrementos na V% e decréscimos da saturação por Al em Latossolos foram encontrados no Paraná por Caires et al. (2003; 2012) e Rampim et al. (2011).

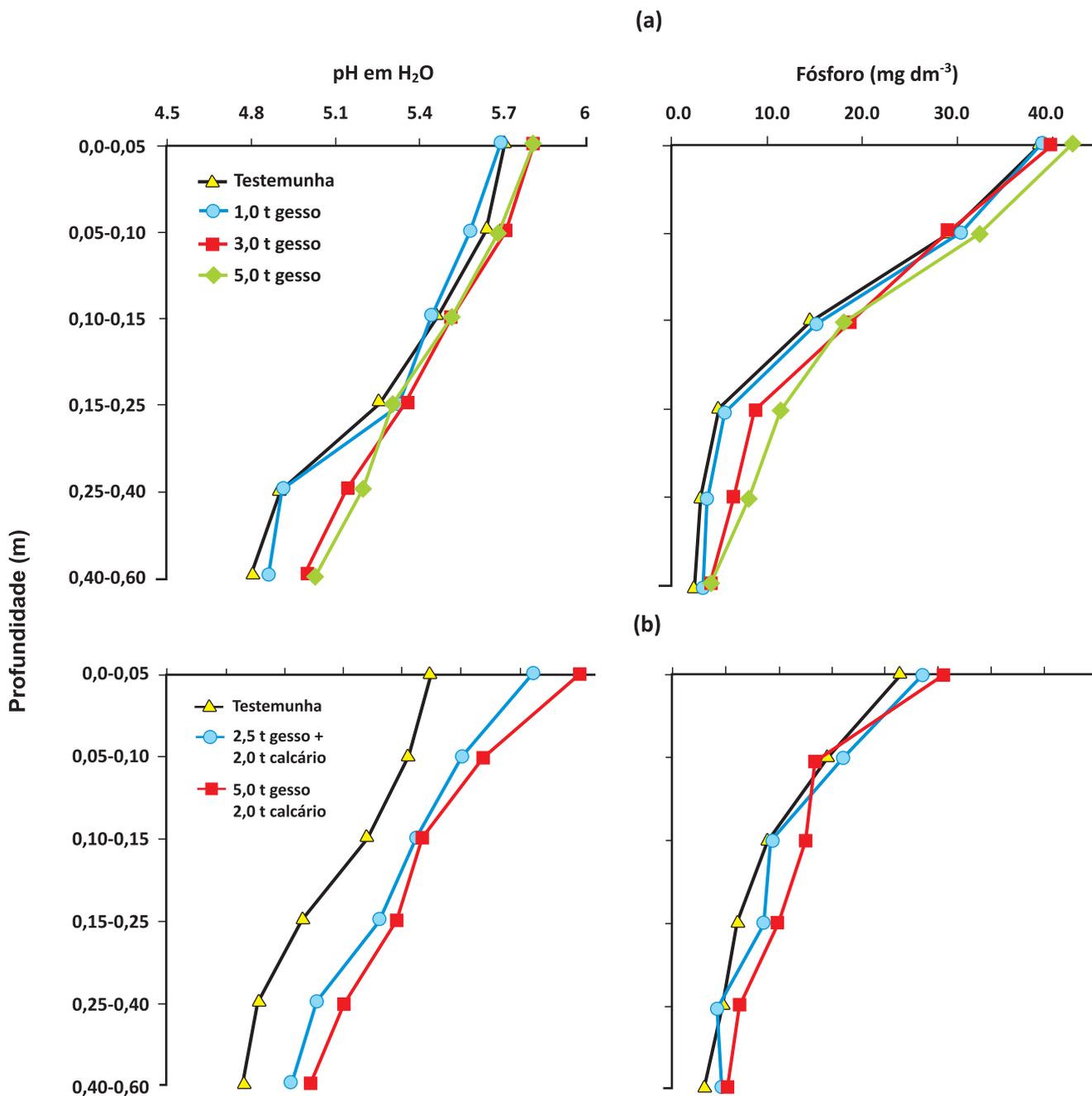


Figura 4. Valores de pH H₂O e teor de fósforo trinta meses após a aplicação isolada de gesso na primeira área experimental (a) e com a aplicação de gesso combinado com calcário na segunda área (b). Carazinho, RS.

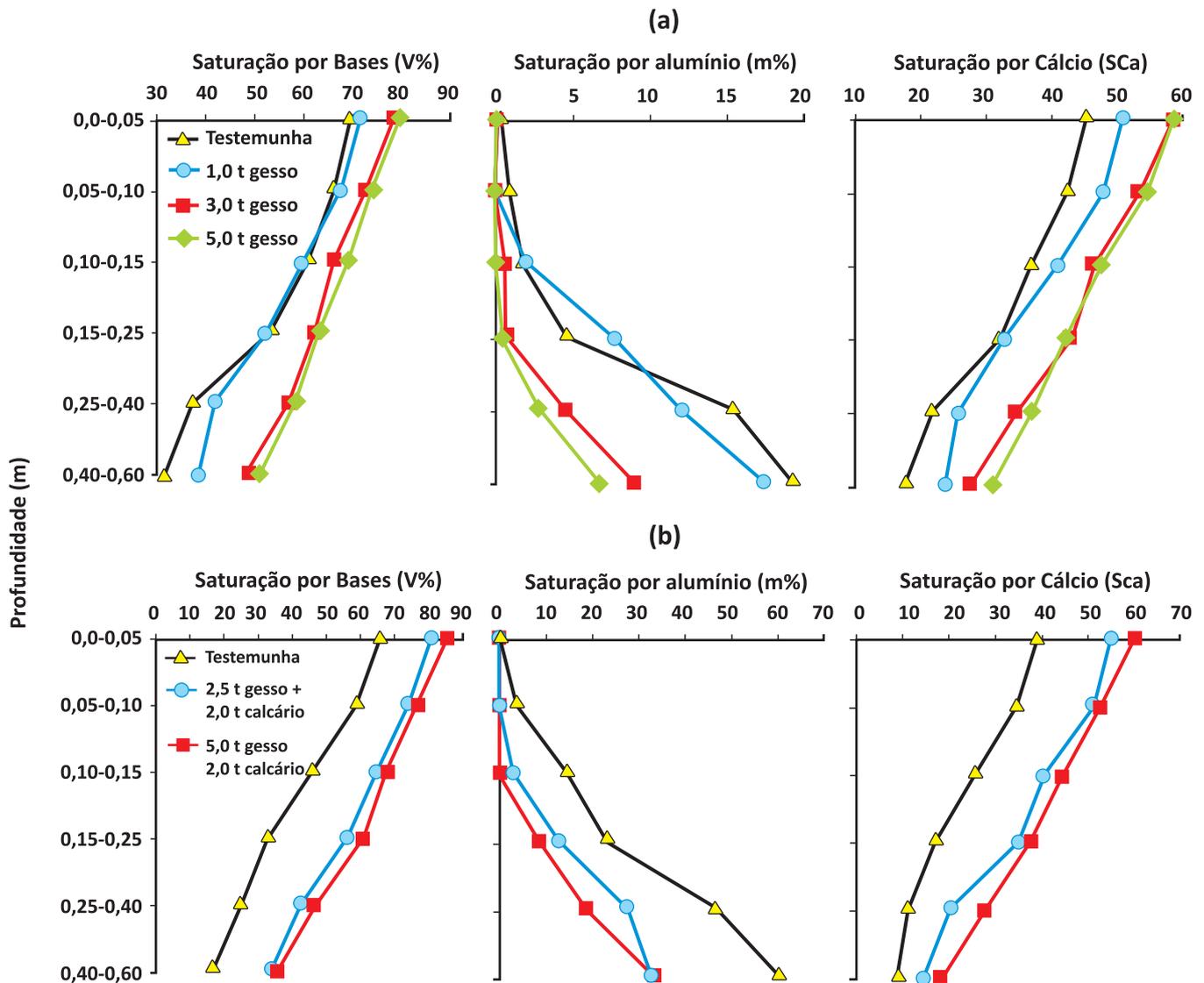


Figura 5. Saturação por bases, saturação de Al e saturação de Ca trinta meses após a aplicação isolada de gesso na primeira área (a) e de gesso combinado com calcário na segunda área experimental (b). Carazinho, RS.

O elevado incremento de Ca^{2+} trocável a partir da aplicação das doses de gesso aumentou a saturação de Ca na CTC em todo o perfil de ambos os solos. Para a maior dose de gesso, na primeira área foi verificado um aumento de 30% na saturação por Ca da camada de 0,0-0,05 m, na camada de 0,25-0,40 m esse incremento alcançou 74% (Figura 5a). Para a segunda área, foi verificado, nessas mesmas camadas do solo, incrementos de 51% e 63%, respectivamente (Figura 5b). A presença de Ca^{2+} , em elevadas concentrações na zona de crescimento das raízes é de grande importância, uma vez que

não há translocação desse nutriente da parte aérea para o sistema radicular. Além disso, esse nutriente é preponderante para o alongamento radicular (Caires et al., 2001). Em pesquisa realizada no Paraná, Caires et al., (2004) reportaram relação entre a saturação de Ca em camadas superficiais do solo e a produtividade do milho.

Efeito do gesso na produtividade das culturas de grãos

A partir das melhorias químicas no perfil do solo proporcionadas pelas aplicações isoladas de gesso e do

Tabela 4. Produtividade das culturas de milho e soja com aplicação de gesso isoladamente e gesso combinado com calcário. Carazinho, RS.

| Primeira área experimental | | | |
|--------------------------------------|---------------------------------|-------------------|-------------------|
| Doses de Gesso t ha ⁻¹ | Produtividade de grãos | | |
| | Milho (2009/10) | Soja (2010/11) | Soja (2011/12) |
| | kg ha ⁻¹ | | |
| Testemunha | 10700 | 4480 | 3325 |
| 1,0 gesso | 10750 | 4534 | 3388 |
| 3,0 gesso | 11288 | 4727 | 3747 |
| 5,0 gesso | 11369 | 4759 | 3823 |

| Segunda área experimental | | | |
|---------------------------|------------------------|-------------------|-------------------|
| | Produtividade de grãos | | |
| | Soja? (2009/10) | Soja (2010/11) | Soja (2011/12) |
| Testemunha | 3563 | 3563 | 1868 |
| 2,5 gesso + 2,0 calcário | 4107 | 4107 | 2168 |
| 5,0 gesso + 2,0 calcário | 4266 | 4266 | 2275 |

gesso combinado com calcário, foi verificado aumento de produtividade das culturas da soja e do milho em todas as safras e em ambas as áreas experimentais investigadas (Tabela 4). Na safra 2009/2010, em ambas as áreas, foi cultivado a cultura do milho, onde as produtividades mais elevadas foram alcançadas nos tratamentos com as maiores doses de gesso, sendo esses incrementos de 6% e 16% para a primeira e segunda área, respectivamente, (Tabela 4). Este resultado está coerente com as características químicas iniciais das áreas que eram mais restritivas na segunda área em relação a primeira. Incrementos na produtividade da cultura do milho pela aplicação do gesso foram reportados anteriormente por Farina et al. (2000), que reportaram incremento de 25% na média de onze safras em Latossolo da África do Sul. Caires et al (2011), em Latossolo do Paraná, mesmo na ausência de déficit hídrico, também reportaram efeito positivo do gesso na produtividade do milho.

No presente estudo, incrementos de produtividade na cultura da soja, a exemplo do ocorrido com o

milho, também foram verificados na maior dose de gesso aplicada (Tabela 4). Os incrementos na produtividade da cultura da soja foram mais expressivos na safra de 2011/12, quando da ocorrência de severo déficit hídrico, refletindo em incrementos de 13% e 17% na produtividade da soja para a primeira e segunda área, respectivamente. Anteriormente, Quaggio et

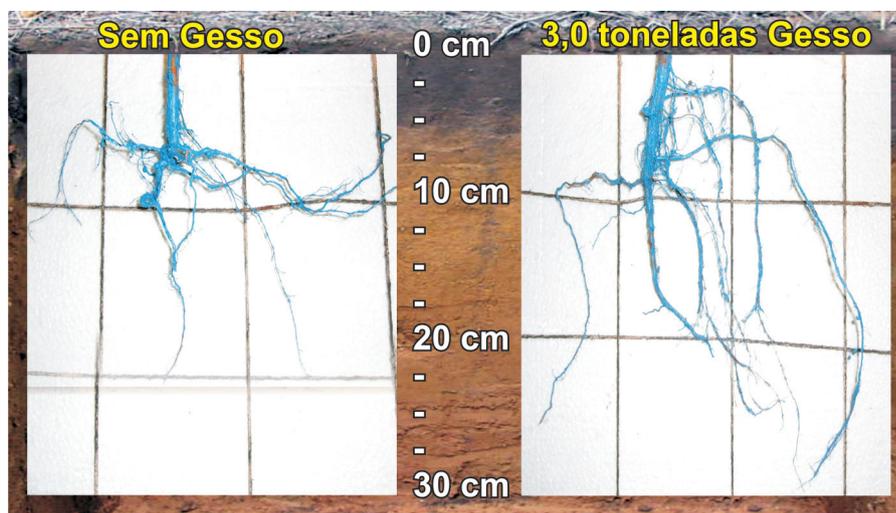


Figura 6. Desenvolvimento radicular da soja com aplicação 3,0 t ha⁻¹ de gesso e do tratamento testemunha sob sistema plantio direto em Latossolo. Carazinho (RS).



Figura 8. Produtividade de soja com exclusão de aproximadamente 30% (280 mm da precipitação) e sem exclusão da precipitação em tratamentos com trinta meses após a aplicação de gesso (a) e decréscimo da produtividade de soja induzida pela exclusão parcial da precipitação em relação às condições normais (b). Carazinho, RS.

al. (1993) reportaram incremento na produtividade da soja de 10% com a aplicação de $6,0 \text{ t ha}^{-1}$ de gesso. Raij (2010) também reportou aumento na produtividade da soja com doses de gesso de $4,0$ e $6,0 \text{ t ha}^{-1}$.

A melhoria das condições químicas subsuperficiais do solo influencia diretamente no desenvolvimento do sistema radicular das culturas (Sumner, 1995), resultando em uma maior eficiência na utilização da água armazenada no solo (Raij, 2010), diminuindo o efeito do déficit hídrico de curta duração na produtividade das culturas como o verificado na safra de 2011/12. Os incrementos dos teores de Ca^{2+} , Mg^{2+} , e dos índices V%, saturação por Ca e decréscimo da saturação por Al tornam o ambiente subsuperficial de Latossolos distróficos favorável quimicamente ao desenvolvimento radicular (Farina et al., 2000). Na Figura 6 é visualizado o maior aprofundamento do sistema radicular da soja no tratamento com a dose de $3,0 \text{ t ha}^{-1}$ de gesso comparado ao tratamento testemunha.

Relações do déficit hídrico com o efeito da gessagem na produtividade das culturas

Com o objetivo de investigar o efeito da correção do perfil do solo proporcionado pela gessagem na

cultura da soja em situações severas de déficit hídrico foi utilizado câmaras de exclusão de aproximadamente 30% da precipitação natural. Estes equipamentos foram instalados a campo na safra de 2011/12, que naturalmente apresentou restrição hídrica no Sul do Brasil. Dessa maneira, quando a planta é exposta a situações de déficit hídrico, a ação fitotóxica do Al^{3+} decorrente da acidez das camadas subsuperficiais do solo sob SPD é intensificada (Caires, 2012). As câmaras foram instaladas transcorridos trinta meses após a aplicação dos tratamentos, nas doses de gesso de $0,0$; $3,0$ e $5,0 \text{ t ha}^{-1}$ (Figura 7).

O efeito de incremento da produtividade da cultura da soja em relação a testemunha proporcionado pela gessagem foi amplificado pela indução da restrição hídrica (Figura 8a). Os resultados apresentados na Figura 8b onde o tratamento sem gesso, quando submetido a 30% de exclusão da precipitação, apresentou decréscimo de produtividade da soja em 354 kg ha^{-1} , contrastando com os tratamentos que receberam $3,0$ e $5,0 \text{ t ha}^{-1}$ de gesso que tiveram decréscimo de 167 e 101 kg ha^{-1} , respectivamente.

Os resultados apresentados sugerem que a melhoria química do perfil do solo proporcionada pela gessagem foi capaz de atenuar parcialmente a perda de produtividade

A recomendação da dose e os critérios para a recomendação do uso do gesso no RS ainda não estão definidos, fato que deve ser suprido futuramente pela pesquisa.

Agradecimentos

Aos produtores Luciano Mattos e Valdir Ahlert por cederem campos experimentais em suas propriedades. A COTRIJAL pelo apoio na condução dos experimentos.

Referências

AMADO, T.J.C.; BAYER, C.; CONCEIÇÃO, P.C.; SPAGNOLLO, E.; CAMPOS, B.C.; VEIGA, M. Potential of Carbon Accumulation in No-Till Soils with Intensive Use and Cover Crops in Southern Brazil. *Journal of Environmental Quality*, v.35, p.1599-1607, 2006.

BAYER, C.; AMADO, T.J.C.; TORNQUIST, C.G.; CERRI, C.E.P.; DIECKOW, J.; ZANATTA, J.A.; NICOLOSO, R.S.; CARVALHO, P.C.F. Estabilização do carbono no solo e mitigação das emissões de gases de efeito estufa na agricultura conservacionista. *Tópicos em Ciência do Solo*, v.7, p.55-118, 2011.

BISSANI, A.C.; GIANELO, C.; CAMARGO, A.O.F.; TEDESCO, J.M. Fertilidade dos Solos e Manejo da Adubação de Culturas. 2. Ed. Porto Alegre,.

CAIRES, E.F.; BLUM, J.; BARTH, G.; GARBUIO, F.J.; KUSMAN, M.T. Changes in chemical soil characteristics and soybean response to lime and gypsum applications in a no-tillage system. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.27, p.275-286, 2003.

CAIRES, E.F.; MASCHIETTO, E.H.G.; GARBUIO, F.J.; CHURKA, S.; JORIS, H. A. W. Surface application of gypsum in low acidic Oxisol under no-till cropping system. *Scientia Agricola*, v.68, p.209-216, 2011.

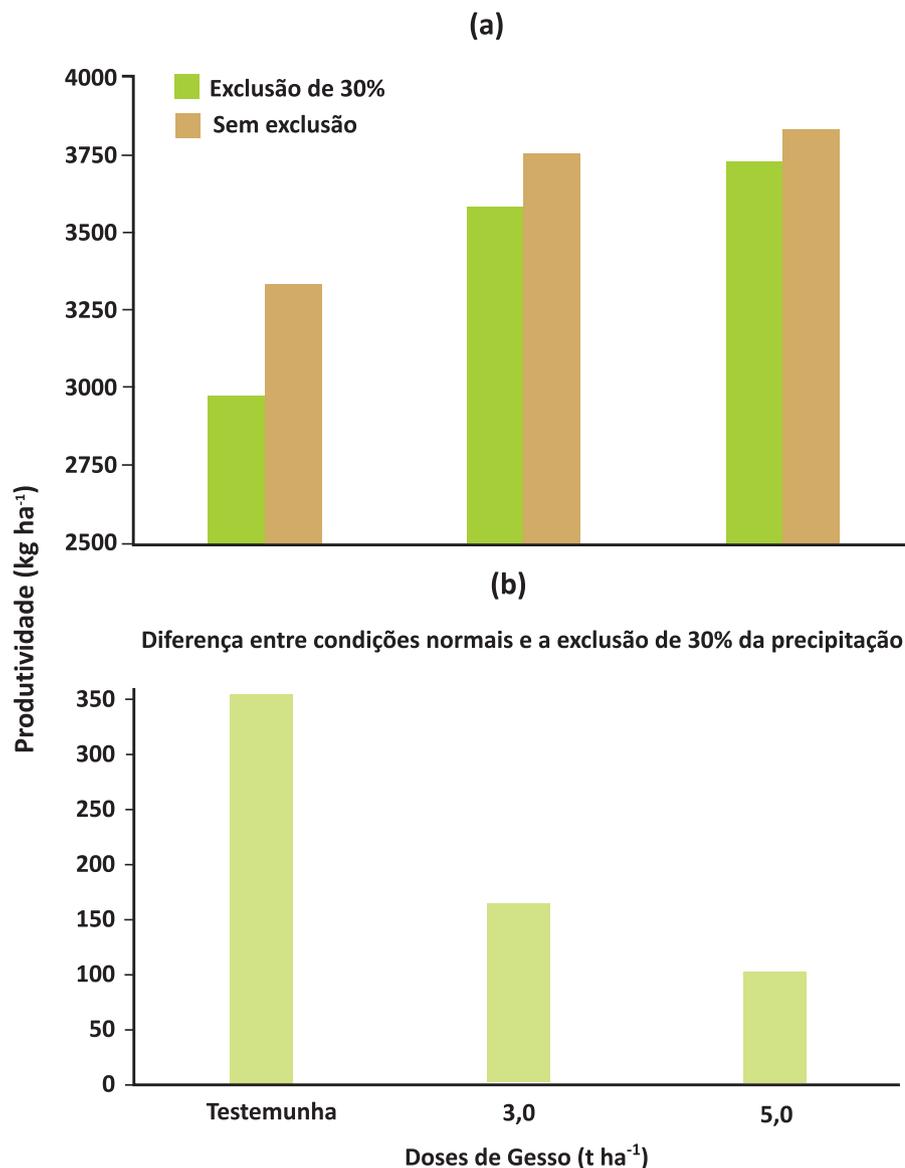


Figura 7. Câmaras de exclusão de aproximadamente 30% da precipitação na primeira área experimental, quando havia transcorrido trinta meses da aplicação de gesso. Carazinho, RS.

associada ao déficit hídrico. Este fato foi anteriormente reportado por Ritchey et al. (1980), que sustentaram que a formação de um perfil de solo quimicamente corrigido possibilita que o sistema radicular utilize o conteúdo de água armazenada no solo em camadas mais profundas.

Considerações Finais

A melhoria e a redistribuição das bases catiônicas através do perfil do solo proporcionada pela gessagem, resultou na diminuição da

atividade do alumínio em camadas subsuperficiais dos Latossolos investigados, proporcionando o aprofundamento do sistema radicular.

A produtividade das culturas da soja e do milho foi incrementada pela aplicação de gesso de forma isolada ou combinada com calcário. Este efeito foi intensificado sob condições de restrição hídrica, sugerindo que este condicionador do solo pode contribuir para a estabilização da produtividade de culturas de grãos sob sistema plantio direto contínuo não irrigado.

- CAIRES, E.F.; FONSECA, A.F.; FELDHAUS, I.C.; BLUM, J. Root growth and nutrient uptake by soybean as affected by lime and gypsum, under a no-tillage system. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.25, p.1029-1040, 2001.
- CAIRES, E.F.; ALLEONI, L.R.F.; CAMBRI, M.A.; BARTH, G. Surface application of lime for crop grain production under a no-till system. *Agronomy Journal*, v.97, p.791-798, 2005.
- CAIRES, E.F. Calagem e uso de gesso em Sistema Plantio. *Revista Plantio Direto*, v.128, p.1-11, 2013.
- COGO, N.P.; LEVIEN, R.; SCHWARZ, R.A. Perdas de solo e água por erosão hídrica influenciadas por métodos de preparo, classes de declive e níveis de fertilidade do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.27, p.743-753, 2003.
- COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO – RS/SC. Manual de adubação e de calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2004. 400p.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. Brasília, Embrapa Produção de Informação; Rio de Janeiro, Embrapa Solos, 2006. 306p.
- EMBRAPA. Tecnologias de Produção de Soja na Região Central do Brasil. Embrapa Soja Sistema de Produção. n.1. 2004
- ESCOSTEGUY, P.A.V. Deficiência de potássio em lavouras de soja. *Revista Plantio Direto*, v.127, p.36-46, 2012.
- FARINA, M.P.W., CHANNON, P.; THIBAUD, G.R. A comparison of strategies for ameliorating subsoil acidity: I. Longterm growth effects. *Soil Science Society of America Journal*, v.64, p.646-651, 2000.
- FAVARETTO, N.; NORTON, L.D.; BROUDER, S.M.; JOERN, B.C. Gypsum amendment and exchangeable calcium and magnesium effects on plant nutrition under conditions of intensive nutrient extraction. *Soil Science Society of America Journal*, v.133, p.108-118, 2008.
- FAVARETTO, N.; NORTON, L.D.; JOERN, B.C.; BROUDER, S.M. Gypsum amendment and exchangeable calcium and magnesium affecting phosphorus and nitrogen in runoff. *Soil Science Society of America Journal*, v.70, p.1788-1796, 2006.
- FERREIRA, D.F. Sisvar versão 5.3 (Biud 75): Sistemas de análises de variância para dados balanceados: programa de análises estatísticas e planejamento de experimentos. Lavras, MG, Universidade Federal de Lavras, 2010
- FOLONI, J.S.S.; ROSOLEM, C.A. R. Efeito da calagem e sulfato de amônio no algodão. I - Transporte de cátions e ânions no solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.30, p.425-432, 2006.
- HERNANDEZ, M.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, p.79-85, 1998.
- MARKET, C.M.; PAVANA, M.A.; LANTMANN, A.F. Considerações sobre o uso do gesso na agricultura. Piracicaba: POTAFOS - Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1987. 3p. (Informações Agrônomicas 40).
- MIYAZAWA, M.; PAVAN, M.A.; FRANCHINI, J.C. Evaluation of plant residues on the mobility of surface applied lime. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, v.45, p.251-256, 2002.
- OLIVEIRA, I.P.; COSTA, K.A.P.; FAQUIM, V.; MACIEL, G.A.; NEVES, B.P.; MACHADO, E.L. Efeitos de fontes de cálcio no desenvolvimento de gramíneas solteiras e consorciadas. *Ciência e Agrotecnologia*, v.33, p.592-598, 2009.
- PAVAN, M.A.; BINGHAM, F.T.; PRATT, P.F. Redistribution of exchangeable calcium, magnesium, and aluminum following lime or gypsum applications to a Brazilian Oxisol. *Soil Science Society of America Journal*, v.48, p.33-38, 1984.
- QUAGGIO, J.A.; RAIJ, B.van. 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 Agrônomo de Campinas. 1996. p.14-19. (Boletim Técnico, 100).
- QUAGGIO, J.A.; RAIJ, B.van; GALLO, P.B.; MASCARENHAS, H.A.A. Soybean responses to lime and gypsum and ion leaching into the soil profile. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.28, p.375-383, 1993.
- RAMPIM, L.; LANA, M.C.; FRANDOLOSO, J.F.; FONTANIVA, S. Chemical attributes of a soil and response of Wheat and soybean to gypsum in no-tillage system. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.35, p.1687-1698, 2011.
- RITCHEY, K.D.; SOUSA, D.M.G.; LOBATO, E.; CORREA, O. Calcium leaching to increase rooting depth in a Brazilian Savannah Oxisol. *Agronomy Journal*, v.72, p.40-44, 1980.
- REEVE, N.G.; SUMNER, M.E. Amelioration of subsoil acidity in Natal Oxisols by leaching of surface applied amendments. *Agrochemophysica*, v.4, p.1-6, 1972.
- SALET, R.L.; ANGHINONI, I.; KOCHHANN, R. A. Atividade do alumínio na solução de solo do sistema plantio direto. *Revista Científica Unicruz*, v.1, p.9-13, 1999.
- SUMNER, M.E. Amelioration of subsoil acidity with minimum disturbance. In: JAYAWARDANE, N.S.; STEWART, B.A., eds. *Subsoil management techniques*. Athens, Lewis Publishers, 1995. p.147-185.
- TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S.J. Análises de solo, plantas e outros materiais. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 1995. 174p. (Boletim Técnico, 5).
- ZAMBROSI, F.C.B.; ALLEONI, L.R.F.; CAIRES, E.F. Aplicação de gesso agrícola e especiação iônica da solução de um Latossolo sob sistema plantio direto. *Ciência Rural*, v.37, p.110-117, 2007.