

AGRÁRIA

Revista Brasileira de Ciências Agrárias

v.3, n.4, p.307-312, out.-dez., 2008

Recife, PE, UFRPE. www.agraria.ufrpe.br

Protocolo 282 - 20/11/2007 • Aprovado em 30/06/2008

Alexandre T. Rocha²

Alexandre C. Oliveira³

Álvaro N. Rodrigues³

Mario A. Lira Júnior³

Fernando J. Freire³

Emprego do gesso do Araripe na melhoria do ambiente radicular da cana-de-açúcar¹

RESUMO

O gesso é obtido do mineral gipsita, sulfato de cálcio que ocorre na forma dihidratada. Tanto as formas minerais quanto as formas residuais de gesso, têm mostrado eficácia quando aplicadas em solos para fins diversos como, por exemplo, na redução da saturação por alumínio e na recuperação de solos sódicos. O objetivo deste trabalho foi avaliar o potencial do gesso do Araripe na melhoria do ambiente radicular da cana-de-açúcar. Assim, foi conduzido um experimento em uma área agrícola do município de Sirinhaém, Pernambuco. Os tratamentos foram compostos por uma testemunha, pelo uso isolado de calcário, uso isolado do gesso e pela combinação de calcário e gesso mineral. A aplicação de gesso do Araripe proporcionou maior distribuição percentual de raízes de cana-de-açúcar. A movimentação do cálcio em profundidade, na forma de CaSO_4^0 , foi determinante para a melhoria do ambiente radicular em profundidade. Aos 30 dias após a aplicação os teores de cálcio foram elevados em profundidade, mesmo sendo o gesso aplicado a lanço e sem incorporação, sobrepujando os teores de alumínio trocáveis originalmente elevados.

Palavras-chave: gipsita, sulfato de cálcio, raízes, cana-de-açúcar

Use of Araripe gypsum to improve sugarcane root environment

ABSTRACT

Gypsum is obtained from the mineral gypsite, calcium sulphate in the dihydrated form. Both mineral and residual gypsum forms have shown efficacy when applied in soils for several uses, as for example, reduction of aluminum saturation and reclamation of sodic soils. The objective of this work was to evaluate the potential of the Araripe gypsum to improve of sugarcane root environment. An experiment was carried out in an agricultural field of Sirinhaém municipality, Pernambuco State, Brazil. The treatments were composed of a control, lime used without gypsum, gypsum without lime, and the combination of lime and gypsum. The application of Araripe gypsum allowed an increase in the percentage of sugarcane root distribution. The downward movement of calcium as CaSO_4^0 was determinant for the root environment improvement in depth. Calcium contents were found to increase in depth 30 days after application, even with the gypsum being applied on surface without incorporation, reducing the aluminum content.

Key words: gypsite, calcium sulphate, roots, sugarcane

² Universidade Federal Rural da Amazônia – Unidade Capitão Poço, PA-124, km zero, Capitão Poço –PA, CEP 68650-000, alexandre.rocha@pesquisador.cnpq.br. Fax: (91) 3468 2155

³ Universidade Federal Rural de Pernambuco, Av. D. Manoel de Medeiros, s/n°, Dois Irmãos, Recife-PE, CEP: 52171-900: f.freire@depa.ufrpe.br. Fax: (81) 3320 6220

¹ Parte da Tese defendida pelo primeiro autor na UFRPE. Projeto financiado pelo PROMATA/FACEPE

INTRODUÇÃO

O gesso mineral, termo traduzido do nome mais conhecido internacionalmente, “mined gypsum”, pertence à classe dos sulfatos e é obtido a partir das rochas gipsíferas, que ocorrem na forma dihidratada ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), embora possam ser encontradas e utilizadas em formas menos hidratadas, como a bassanita ($\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$) e a anidrita (CaSO_4) (Porta, 1997).

A maior parte das pesquisas realizadas com o uso do gesso na agricultura no Brasil trata de resultados obtidos com a gipsita secundária, gerada como subproduto da fabricação de ácido fosfórico, que recebe o nome de fosfogesso ou simplesmente gesso agrícola (Saldanha et al., 2007). Como o fosfogesso, existem outras possibilidades de gesso-resíduo que são estudadas em outros países, como o “fluor-gypsum”, proveniente do ácido hidrófluídrico e do “boron-gypsum”, do ácido ortobórico (Amezketta, et al., 2005). Tais estudos confrontam o gesso mineral com as formas residuais, observando a semelhança dos efeitos das fontes no solo (Garrido et al., 2003; Illera et al., 2004; Amezketta et al., 2005).

O alumínio reduz o crescimento radicular, especialmente o ápice das raízes, dificultando o acesso a reservas de água e nutrientes em camadas mais profundas do solo (Tang et al. 2003). O cálcio, por outro lado, é um nutriente decisivo no desenvolvimento radicular das plantas (Ritchey et al., 1980). Segundo Quaggio (2000), quando a saturação por cálcio no complexo de troca é inferior a 20%, há forte restrição ao crescimento de raízes no solo, para a maioria das espécies cultivadas.

A calagem é a prática mais eficiente para elevar os teores de cálcio e reduzir os níveis de alumínio trocável nos solos; contudo, sua reação se restringe ao local de aplicação, não atendendo à correção da acidez no subsolo que, por sua vez, depende da lixiviação de sais (Caíres et al., 2004). O gesso tem sido a alternativa para a redução da acidez trocável no subsolo, por sua maior mobilidade no perfil, atingindo profundidades além da camada arável (Quaggio, 2000). Vários trabalhos têm mostrado a eficiência do gesso, mineral ou resíduo, em neutralizar os teores de alumínio trocável e, ou, au-

mentar os teores de cálcio em profundidade (Pavan et al., 1987; Chaves et al., 1988).

Segundo Caíres et al. (2001) a aplicação de gesso contribuiu para melhorar a distribuição relativa de raízes de cevada em profundidade, principalmente quando se realizou a calagem. Morelli et al. (1992), mostraram que doses combinadas de calcário e gesso em solo cultivado com cana-de-açúcar, resultaram em aumentos de produção, com incrementos da ordem de 18 Mg ha^{-1} em cana planta. Os dados de produção indicaram que, ao longo de quatro cortes, as melhores produções foram obtidas com a associação calcário/gesso devido ao reflexo das melhores condições químicas do solo em subsuperfície.

Objetivou-se, portanto, neste trabalho, avaliar o potencial do gesso mineral do Araripe na elevação dos teores de cálcio e na redução dos teores de alumínio trocável em subsuperfície, bem como as implicações da aplicação do insumo no ambiente radicular da cana-de-açúcar.

MATERIAL E MÉTODOS

Para avaliar os efeitos da aplicação de gesso em solo cultivado com cana-de-açúcar, conduziu-se, no período de junho de 2004 a novembro de 2005, um experimento em área agrícola da Usina Trapiche, situada no município de Sirinhaém, Zona da Mata Sul do Estado de Pernambuco, em solo classificado como Latossolo Amarelo Distrocoeso típico, posicionado nas coordenadas $8^{\circ}33'11''$ Sul e $35^{\circ}06'53''$ Oeste. De acordo com a classificação de Köppen, o clima dominante é o Ams', tropical chuvoso de monção com verão seco. Entre a aplicação dos tratamentos e a última coleta a precipitação pluviométrica acumulada foi de 2.883 mm (Figura 1).

A caracterização química e física do solo (Tabela 1) foi realizada em quatro profundidades, ao longo do perfil, em camadas de 0,2 m até a profundidade de 0,8 m, sendo as determinações de pH em água, carbono (C), acidez potencial (H+Al), alumínio (Al^{3+}), potássio (K^+), fósforo (P) e, ainda, a análise granulométrica, e as determinações de densidade do solo (Ds) e condutividade hidráulica saturada (K), realizadas

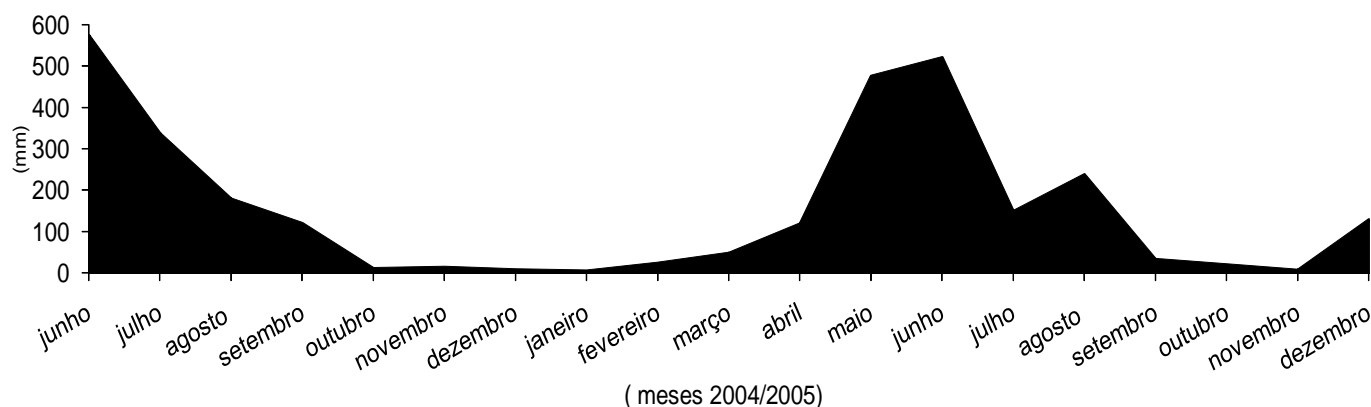


Figura 1. Pluviometria do período de junho de 2004 a dezembro de 2005, no município de Sirinhaém, Litoral Sul de Pernambuco

Figure 1. Rainfall between June 2004 to December 2005 in the municipality of Sirinhaém located in southern coast of Pernambuco

Tabela 1. Caracterização química e física do solo nas profundidades de 0-0,2, 0,2-0,4, 0,4-0,6 e 0,6-0,8m**Table 1.** Soil chemical and physical characterization in 0-0.2, 0.2-0.4, 0.4-0.6 and 0.6-0.8 m depths

Característica	Profundidade (m)			
	0,0-0,2	0,2-0,4	0,4-0,6	0,6-0,8
pH (H ₂ O 1:25)	4,60	4,30	4,50	4,70
H+Al (cmol _c dm ⁻³)	6,28	5,82	5,18	5,17
C (g kg ⁻¹)	2,00	1,39	0,35	<Ld [†]
Al ³⁺ (cmol _c dm ⁻³)	1,00	1,20	1,10	1,10
Ca ²⁺ (cmol _c dm ⁻³)	1,10	0,25	0,10	0,10
Mg ²⁺ (cmol _c dm ⁻³)	0,75	0,10	0,05	0,08
K ⁺ (cmol _c dm ⁻³)	0,18	0,05	0,08	0,10
P (mg dm ⁻³)	2,70	<Ld [†]	<Ld [†]	<Ld [†]
SO ₄ ²⁻ (mg dm ⁻³)	23,29	40,67	43,67	37,06
Prem (mg L ⁻¹)	15,99	10,66	6,02	2,35
T(cmol _c dm ⁻³)	8,88	6,12	5,41	5,45
V (%)	24	6,5	9	11,5
m (%)	33	75	82	79
Ca/Mg	2,5	2,7	3,6	2,1
Ca/K	14,8	31,9	19,4	20,0
Areia (g kg ⁻¹)	448	328	308	288
Silte (g kg ⁻¹)	66	56	26	26
Argila (g kg ⁻¹)	486	616	666	686
Ds (g cm ⁻³)	1,11	1,14	1,12	1,11
K (cm h ⁻¹)	7,36	9,88	8,53	13,12

†Ld: Abaixo do limite de detecção

de acordo com os métodos propostos pela EMBRAPA (1997); além dessas, as determinações de sulfato (SO₄²⁻) e fósforo remanescente (Prem) foram realizadas conforme Alvarez V. et al. (2000, 2001).

O delineamento experimental empregado foi o de blocos ao acaso, sendo as parcelas constituídas de 4 tratamentos compostos por uma testemunha absoluta, pelo uso isolado de calcário dolomítico (4,55 Mg ha⁻¹), uso isolado de gesso mineral (4,62 Mg ha⁻¹) e pela combinação dos insumos, ou seja, 4,55 Mg ha⁻¹ de calcário dolomítico somado a 2,31 Mg ha⁻¹ de gesso. Os insumos, calcário e gesso, foram aplicados a lanço, com os sulcos já abertos e na mesma data.

As doses de calcário e gesso foram definidas de acordo com a necessidade de calagem (NC) utilizando-se o método da neutralização do alumínio trocável ou elevação dos teores trocáveis de cálcio + magnésio (Cavalcanti et al., 1998). Com base na caracterização química do solo, consideraram-se os teores de alumínio trocável na camada 0,2 m para definir a dose de 4,55 Mg ha⁻¹ de calcário dolomítico, com PRNT de 89%, e os teores de cálcio+magnésio na camada 0,4-0,6 m de profundidade, para definir a dose de 4,62 Mg ha⁻¹ e 2,31 Mg ha⁻¹ (50%) de gesso mineral.

Cada parcela foi constituída de seis linhas de cana-de-açúcar espaçadas 1 m e com 10 m de comprimento, totalizando 60 m². A área útil da parcela se compunha pelas duas linhas centrais, representada por 20 m².

O gesso utilizado no experimento originou-se de jazidas de gipsita (CaSO₄. 2H₂O) do Pólo Gesseiro do Araripe, região situada no extremo oeste de Pernambuco, a cerca de 700 km da capital Recife. A caracterização química e física do gesso mineral foi realizada pelo Instituto Tecnológico de Pernambu-

co (ITEP) que, por sua vez, segue procedimentos e normas de análise de gesso para a construção civil (ABNT, 1991) (Tabela 2).

Tabela 2. Características físicas e químicas do gesso mineral**Table 2.** Physical and chemical properties of the mineral gypsum

Característica	dag kg ⁻¹
Insolúveis em HCl e Sílica	5,40
Água combinada a 230 °C	16,85
Perda ao fogo 1000°C	4,63
Oxido de Cálcio (CaO)	35,24
Oxido de Magnésio (MgO)	0,33
Sulfato (SO ₄)	43,95
Al ₂ O ₃ +Fe ₂ O ₃	0,57

Trinta dias após a aplicação dos insumos, realizou-se o plantio da variedade de cana-de-açúcar SP78-4764, dominante na região em que foi realizado o experimento. Todas as parcelas receberam adubação de fundação (20 kg ha⁻¹ de N, 180 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 35 kg ha⁻¹ de K₂O), conforme recomendado por Cavalcanti et al. (1998); aos 60 dias após o plantio foram aplicados, em cobertura, 20 kg ha⁻¹ de N e 35 kg ha⁻¹ de K₂O, além de usados, nessas adubações, fosfato monoamônico, uréia e cloreto de potássio.

Aos 30 e 480 dias após a aplicação das doses de gesso e calcário, amostras de solo foram coletadas nas parcelas experimentais, nas profundidades: 0-0,2; 0,2-0,4; 0,4-0,6 e 0,6-0,8 m, com auxílio de trado tipo holandês. As perfurações para obtenção das amostras foram feitas a 0,2 m de distância da linha de plantio da cana-de-açúcar. As amostras de solo coletadas após secagem foram, destorroadas e tamisadas em malha de 2 mm; em seguida, procedeu-se à determinação do pH em água (1:2,5), acidez potencial, cálcio, magnésio e alumínio trocáveis e potássio conforme EMBRAPA (1997), sendo o cálcio e o magnésio trocáveis dosados por espectrofotometria de absorção atômica. O sulfato, enxofre extraído por CaCl₂, foi determinado conforme procedimentos descritos por Alvarez V. et al. (2001).

Após a coleta da cana e limpeza da área, queima e queima dos restos culturais, abriram-se trincheiras em cada um dos tratamentos estudados para avaliação do desenvolvimento radicular da cana-de-açúcar, segundo procedimentos descritos por Vasconcelos et al. (2003). Esses autores recomendam o método da trincheira ou parede do perfil, que consiste em abrir uma trincheira ao lado da planta e remover uma fina camada da parede do perfil, de modo a expor as raízes para contagem e registro das imagens, que são analisadas digitalmente; assim, as imagens foram capturadas por câmera digital e analisadas via software SIARCS - Sistema Integrado para Análise de Raízes e Cobertura do Solo (EMBRAPA, 1996) - para determinação da distribuição percentual de raízes por camada. Visando à qualidade nas imagens, cada perfil cultural de 1 m de largura por 0,8 m de altura foi dividido em quatro quadrantes de 0,4 x 0,5 m, e as análises realizadas individualmente; deste modo, tomou-se a média da distribuição percentual no par de quadrantes de cada profundidade,

ou seja, para a distribuição de raízes nos primeiros 0,4 m, utilizou-se a média da distribuição percentual dos quadrantes superiores e, para a camada 0,4 - 0,8 m, a média da distribuição percentual dos quadrantes inferiores.

Os dados das variáveis de solo foram submetidos a análise da variância pelo teste F ($p < 5\%$) e os tratamentos comparados pelo teste de Scott & Knott, em nível de 5% de probabilidade.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Decorridos 30 dias da aplicação dos insumos, não se observaram, no entanto, diferenças significativas entre os tratamentos para as variáveis relacionadas diretamente com a acidez, ou seja, pH, (H+Al), e Al^{3+} mesmo na camada de 0-0,2 m do solo tratado apenas com calcário, insumo que responde

por alterações dessas variáveis em superfície. (Figura 2). Para tais variáveis foram observados elevados coeficientes de variação, o que impossibilitou o acompanhamento dos efeitos da aplicação de gesso no solo; por outro lado e se considerando que a incorporação dos insumos foi realizada no momento do plantio, é provável que apenas 30 dias após a aplicação não foram suficientes para a correção da acidez, mesmo com elevada incidência pluviométrica no período.

Em relação aos teores de Mg^{2+} , não se constataram variações significativas nas profundidades estudadas, corroborando com os resultados encontrados por Raji et al. (1998) em pesquisa realizada em Latossolo Álico cultivado com milho, que encontraram pouca lixiviação de Mg^{2+} com o uso isolado de gesso.

Reduções nos teores de K^+ em superfície foram observadas em função da aplicação isolada de gesso e, apesar de ainda não ter ocorrido aumento nos teores de K^+ em profundidade, a perda do elemento na camada superficial pode indicar o início do processo de percolação; este processo tem sido resposta freqüente nos estudos com aplicação de gesso em solos (Syed-Omar & Sumner, 1991; Illera et al., 2004).

A partir dos 0,4 m de profundidade percebe-se diferença entre tratamentos para os teores de Ca^{2+} e SO_4^{2-} (Figura 2). A elevação dos teores de Ca^{2+} em subsuperfície tem sido freqüentemente nos trabalhos com a aplicação de gesso (Belkacem & Nys, 1997; Garrido et al., 2003; Ritchey et al., 2004). Observando-se as variáveis conjuntamente (Figura 2), conclui-se que houve movimento descendente de Ca^{2+} e SO_4^{2-} para os tratamentos com gesso, de modo mais evidente para o Ca^{2+} , no caso do tratamento com o gesso aplicado isoladamente.

Vários trabalhos têm mostrado a eficiência do gesso, mineral ou resíduo, em aumentar os teores de cálcio em profundidade (Ritchey et al., 1980; Pavan et al., 1987; Chaves et al., 1988). Resultados obtidos por Caíres et al. (1999), indicaram que doses de gesso elevaram os teores de cálcio trocável em todo o perfil do solo.

A presença de Ca^{2+} e SO_4^{2-} é justificada pela movimentação dos íons em profundidade na forma de $CaSO_4^0$, como ocorrido no trabalho de Sun et al. (2000). Nesse mesmo trabalho, os autores, baseados na especiação de íons em colunas de solo, notaram que até 30% do cálcio em profundidade estava na forma de $CaSO_4^0$; desta forma, os teores de Ca^{2+} e SO_4^{2-} alcançaram maiores valores no tratamento no qual o gesso foi aplicado isoladamente e a proporção de sulfato de cálcio é maior que nos demais tratamentos. A descida predominante do $CaSO_4^0$ ocorreu em razão dos insumos, calcário, gesso e calcário+gesso, terem sido aplicados antes da adubação; havia, portanto, predominância do cálcio em relação aos teores de magnésio e potássio, passíveis de lixiviação, associada à maior estabilidade do par iônico $CaSO_4^0$ frente àqueles formados com magnésio e potássio (Bohn et al., 1979), e também à elevada incidência pluviométrica ocorrida entre esses dois eventos.

O aumento nos teores Ca^{2+} em profundidade implicou em maior percentagem de raízes em subsuperfície nos tratamentos com gesso e calcário+gesso (Figura 3), principalmente a partir de 0,4 m de profundidade quando os teores de Al^{3+} e a sa-

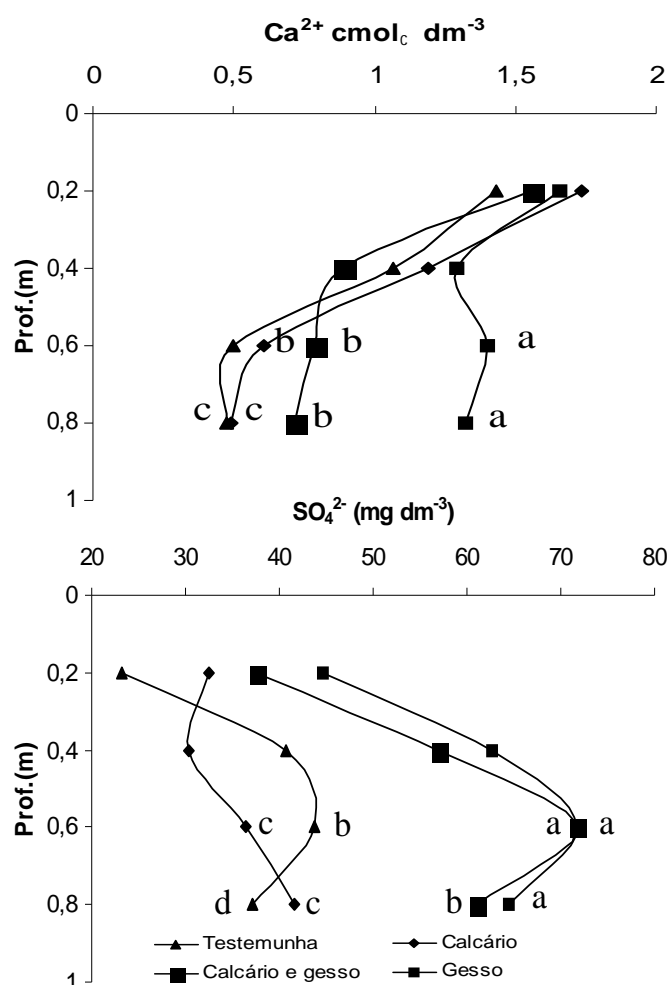


Figura 2. Distribuição dos teores de cálcio trocável (Ca^{2+}) e sulfato (SO_4^{2-}) aos 30 dias após a aplicação dos tratamentos em solo cultivado com cana-de-açúcar. Obs.: presença de pontos seguidos de letras diferentes na horizontal indica que diferem entre si pelo teste de Scott & Knott a 0,05 de probabilidade

Figure 2. Exchangeable calcium (Ca^{2+}) and sulphate (SO_4^{2-}) contents 30 days after treatment application in soil cropped with sugarcane. Obs.: points followed by different letters in the horizontal indicate significant difference by the Scott & Knott test at 0,05 probability

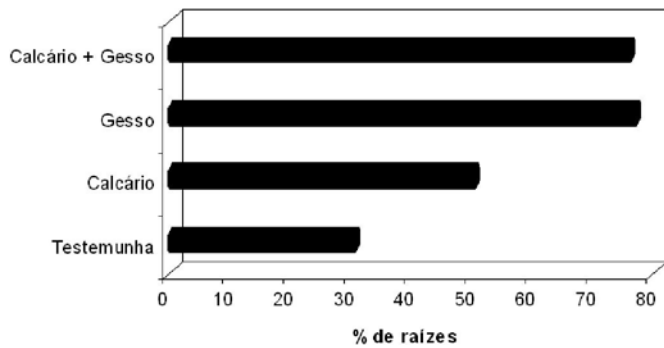


Figura 3. Resposta dos tratamentos calcário+gesso, gesso, calcário e da testemunha sobre o percentual de raízes da variedade SP78-4764 presentes na camada 0,4-0,8 m em relação ao volume total de raízes presentes no perfil cultural (0-0,8m)

Figure 3. Effect of lime+gypsum, gypsum, lime and control on SP78-4764 cultivar roots in 0.4-0.8 m depth in relation to total volume of roots in the cultural profile (0-0.8 m)

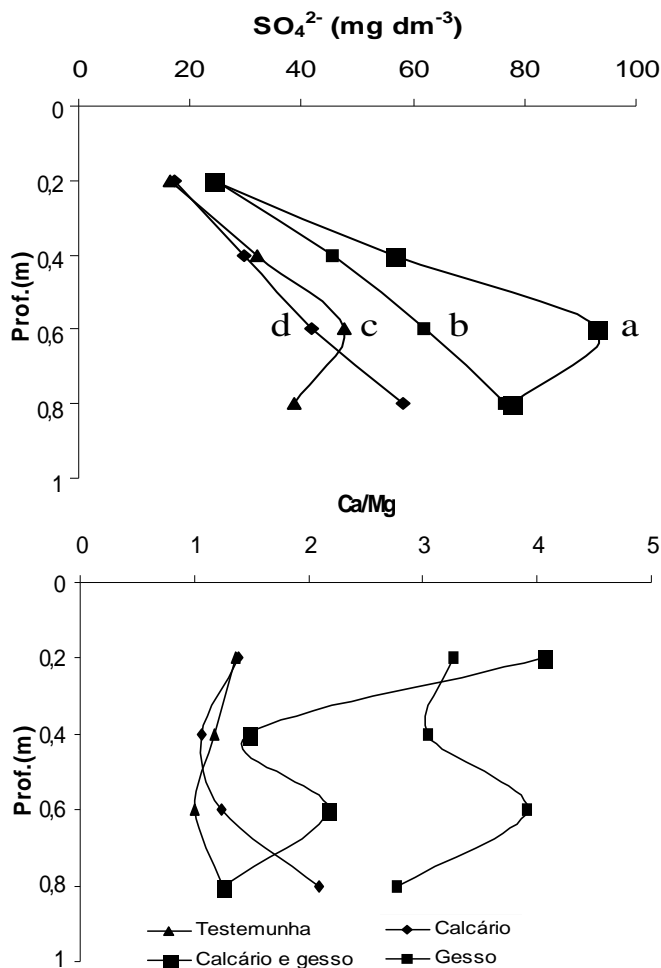


Figura 4. Distribuição do teor de sulfato (SO_4^{2-}) e da relação cálcio/magnésio (Ca/Mg) aos 480 dias após a aplicação dos tratamentos em solo cultivado com cana-de-açúcar. Obs.: Presença de pontos seguidos de letras diferentes na horizontal indica que diferem entre si pelo teste de Scott & Knott a 0,05 de probabilidade

Figure 4. Distribution of sulphate (SO_4^{2-}) and calcium/magnesium (Ca/Mg) relationship 480 days after treatment application in the soil cultivated with sugarcane. Obs.: Points followed by different letters in the horizontal indicate significant difference by the Scott & Knott test at 0,05 probability

turação por Al eram originalmente elevados (Tabela 1); este aspecto favorável ao desenvolvimento radicular com o uso de gesso permite, às plantas de cana-de-açúcar, maior exploração do ambiente e, conseqüentemente, melhor uso da água e de nutrientes.

Aos 480 dias os tratamentos se diferenciaram apenas quanto aos teores de SO_4^{2-} e na relação Ca/Mg (Figura 4), sendo que para esta última não foi possível comparar as médias nas profundidades pelos elevados coeficientes de variação observados. A presença de Ca^{2+} e SO_4^{2-} no perfil do solo ainda aos 480 dias, reforça a existência da relação preponderante entre esse par iônico, favorecendo sua permanência no perfil. De acordo com Marcano-Martinez & Mcbride (1989), em solos oxidicos, de carga líquida nula ou próxima da nulidade e na presença de Ca^{2+} , há uma possível adsorção específica do cátion e conseqüente aumento nas cargas positivas de superfície propiciando um incremento na adsorção de sulfato desses solos (Bolan et al. 1993), favorecendo sua permanência no perfil, por coadsorção. A mobilização do cálcio em profundidade na forma de $CaSO_4^0$ foi determinante na melhoria do ambiente radicular em profundidade, visto que, mesmo com 50% a mais de cálcio na composição do tratamento calcário+gesso, a distribuição percentual de raízes foi equivalente ao tratamento com uso isolado de gesso (Figura 3).

CONCLUSÕES

A aplicação de gesso mineral do Araripe proporcionou maior distribuição percentual de raízes de cana-de-açúcar em camadas abaixo dos 0,4 m de profundidade.

A mobilização do cálcio em profundidade, na forma de $CaSO_4^0$, foi determinante na melhoria do ambiente radicular, em profundidade.

O intervalo de 30 dias foi suficiente para elevar os teores de cálcio em profundidade, mesmo sendo o gesso aplicado a lanço e sem incorporação.

Doses a partir de 2,3 Mg ha⁻¹ são eficazes para o fornecimento de cálcio em profundidade para solos semelhantes ao Latossolo estudado.

AGRADECIMENTOS

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo da UFRPE; à CAPES, PROMATA/ FACEPE, Usina Trapiche e à Mineradora Supergesso, pelo apoio no financiamento e realização da pesquisa.

LITERATURA CITADA

- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. Gesso para construção: Determinação da água livre e de cristalização e teores de óxido de cálcio e anidrido sulfúrico. Rio de Janeiro: ABNT. 1991.
- Alvarez V., V. H.; Novais, R. F.; Dias, L. E.; Oliveira, J.A. Determinação e uso do fósforo remanescente. Boletim Informativo da SBCS, v. 25, p.27-32, 2000.

- Alvarez, V., V. H.; Dias, L. E.; Junior, R.; Silva, E.; Sousa, B. R.; Fonseca, C. A. Métodos de análise de enxofre em solos e plantas. 1.ed. Viçosa: UFV. 2001. 131p.
- Amezketta, E. R. A.; Gazo, R. Efficiency of sulfuric acid, mined gypsum, and two gypsum by-products in soil crusting prevention and sodic soil reclamation. *Agronomy Journal*, v. 97, 2005.
- Belkacem, S.; Nys, C. Effects des formes et doses d'amendements et de gypse sur les caractéristiques chimiques et les percolats d'un sol forestier acide. *Annales des Sciences Forestières*, v. 54, p. 169-180, 1997.
- Bohn, H. L.; McNeal, B. L.; O'Connor, G. A. Soil chemistry. New York: John Wiley, 1979. 329 p.
- Bolan, N. S.; Syers, J. K.; Sumner, M. E. Calcium-induced sulfate adsorption by soils. *Soil Science Society of America Journal*, v. 57, p. 691-696, 1993.
- Caires, E. F.; Feldhus, I. C.; Blum, J. Crescimento radicular e nutrição da cevada em função da calagem e aplicação de gesso. *Bragantia*, v.60, p.213-223, 2001.
- 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.; Kusman, M. T.; Barth, G.; Garbuio, F. J.; Padilha, J. M. Alterações químicas do solo e resposta do milho à calagem e aplicação de gesso. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v.28, p.125-136, 2004.
- Cavalcanti, F. J. A. (coord.). Recomendações de adubação para o Estado de Pernambuco. 2. ed. rev. Recife: IPA, 1998. 198p.
- Chaves, J. C. D.; Pavan, M. A.; Miyazava, M. Redução de acidez subsuperficial em colunas de solo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.23, p. 469-476, 1988.
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Sistema integrado para análise de raízes e coberturas do solo - SIARCS. São Carlos: CNPDIA. 1996, CD-Rom.
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Manual de métodos de análise do solo. 2. ed. Rio de Janeiro, 1997. 212 p.
- Garrido, F.; Illera, V.; Vizcayno, C.; Garcia-Gonzalez, M.T. Evaluation of industrial by-products as soil acidity amendments: Chemical and mineralogical implications. *European Journal of Soil Science*, v. 54, p. 411-422, 2003.
- Illera, V.; Garrido, F.; Vizcayno, C.; Garcia-Gonzalez M. T. Field application of industrial by-products as Al toxicity amendments: chemical and mineralogical implications. *European Journal of Soil Science*, v. 55, p. 681-692, Dec. 2004.
- Marcano-Martinez, E.; McBride, M. B. Calcium and sulfate retention by two Oxisols of the Brazilian cerrado. *Soil Science Society of American Journal*, v. 53, p. 63-69, 1989.
- Morelli, J. L.; Dalben, A. E.; Almeida, J. O. C.; Demattê, J. L. I. Calcário e gesso na produtividade da cana de açúcar e nas características químicas de Latossolo de textura média Álico. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.16, p. 187-194, 1992.
- Pavan, M. A.; Bingham, F. T.; Peryea, F. J. Influence of calcium and magnesium salts on acid soil chemistry and calcium nutrition of apple. *Soil Science Society of American Journal*, v. 51, p. 1526-1530, 1987.
- Porta, J. Methodologies for the analysis and characterization of gypsum in soils: review. *Geoderma*, v. 87, p. 31-46, 1997.
- Quaggio, J. A. Acidez e calagem em solos tropicais. Campinas: Instituto Agronômico, 2000. 111 p.
- Raij, B. van; Furlani, P.R.; Quaggio, J.A.; Pettinelli Jr., A. Gesso na produção de cultivares de milho com tolerância diferencial a alumínio em três níveis de calagem. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.22, p.101-108, 1998.
- Ritchey, K. D.; Belesky, D. P.; Halvorson, J. J. Soil properties and clover establishment six years after surface application of calcium-rich by-products *Agronomy Journal*. v. 96, p. 1531-1538, 2004.
- Ritchey, K.D.; Souza, D.M.G.; Lobato, E.; Correa, C. Calcium leaching to increase rooting depth in a Brazilian savannah oxisol. *Agronomy Journal*, v. 72, p. 40-42, 1980.
- Saldanha, E. C. M.; Rocha, A. T.; Oliveira, E. C. A.; Nascimento, C. W. A.; Freire, F. J. Uso do gesso mineral em Latossolo cultivado com cana-de-açúcar. *Caatinga*, v.20, n. 1, p.36-42, 2007.
- Sun, B.; Poss R.; Moreau, R.; Aventurier, A.; Fallavier, P. Effect of slaked lime and gypsum on acidity alleviation and nutrient leaching in an acid soil from Southern China. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, v. 57, p. 215-223, 2000.
- Syed-Omar, S. R.; Sumner, M. E. Effect of gypsum on soil potassium and magnesium status and growth of alfalfa. *Communication in Soil Science and Plant Analysis*, v. 22, p. 2017-2028, 1991.
- Tang, C.; Zengel, Z.; Diatloff, E.; Gazey, C. Responses of wheat and barley to liming on a sandy soil with subsoil acidity. *Field Crops Research*, Amsterdam, v. 80, p. 235-244, 2003.
- Vasconcelos, A. C. M.; Casagrande, A. A.; Percin, D.; Jorge, L. A. C.; Landell, M.G.A. Avaliação do sistema radicular da cana de açúcar por diferentes métodos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 27, p. 849 – 858. 2003.