

# **ALTERAÇÕES NAS PROPRIEDADES QUÍMICAS DE UM SOLO ALUVIAL SALINO-SÓDICO DECORRENTES DA SUBSOLAGEM E DO USO DE CONDICIONADORES<sup>(1)</sup>**

**J. S. HOLANDA<sup>(2)</sup>, G. C. VITTI<sup>(3)</sup>, A. A. C. SALVIANO<sup>(4)</sup>,  
J. D. F. MEDEIROS<sup>(2)</sup> & J. R. A. AMORIM<sup>(2)</sup>**

## **RESUMO**

**Solos afetados por sais são característicos de zonas áridas/semi-áridas. Este trabalho foi desenvolvido no vale do Açú (RN), no período abril/90 a janeiro/91, objetivando avaliar o efeito do preparo do solo (convencional + subsolagem) e da aplicação de condicionadores ( gesso, esterco de curral e palha de carnaúba) nas propriedades químicas de um solo aluvial salino sódico. A subsolagem proporcionou efeito eficaz na redução da porcentagem de sódio trocável (PST) e no abaixamento do pH do solo. Nos tratamentos com gesso, foram detectados os maiores valores de cálcio trocável, redução na PST para menos de 15% na camada de 0-0,15 m e aumento na salinidade do solo. O esterco de curral foi benéfico na redução da PST, principalmente quando associado à subsolagem e à gessagem. Existe um desbalanço natural nas relações K:Ca:Mg trocáveis no solo, que se acentua com a gessagem, necessitando de correção potássica para que se atinja o equilíbrio. A proporção entre cátions trocáveis e solúveis no solo ficou entre 13 e 16:1, para cálcio e magnésio, e entre 0,3 e 3,9:1, para o sódio, sendo este o único cátion solúvel que diminuiu com a subsolagem.**

**Termos de indexação: salinidade, sodicidade, gesso, esterco de curral, palha de carnaúba, relação catiônica.**

<sup>(1)</sup> Parte da Tese de Doutorado do primeiro autor, apresentada à Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz - ESALQ/USP. Trabalho com suporte financeiro da EMBRAPA. Recebido para publicação em agosto de 1996 e aprovado em maio de 1998.

<sup>(2)</sup> Pesquisador do sistema EMPARN/EMBRAPA. Caixa Postal 188, CEP 59020-390 Natal (RN).

<sup>(3)</sup> Professor Titular do Departamento de Ciência do Solo, ESALQ/USP. Caixa Postal 09, CEP 13418-900 Piracicaba (SP).

<sup>(4)</sup> Professor do Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Piauí - UFPI. Campus da Socopos, CEP 64049-550 Teresina (PI).

**SUMMARY:** *CHEMICAL PROPERTY CHANGES IN SALINE-SODIC SOIL BY SUBSOILING AND AMENDMENTS*

*Salt-affected soils are characteristics of arid and semi-arid zones of the world. This study was undertaken at Açú valley region of Rio Grande do Norte State, Brazil, by means of a field experiment conducted from April/90 to January/91. The objective of this study was to evaluate the effects of subsoiling and amendment additions (gypsum, farmyard manure and Copernica cerifera straw), on chemical properties of saline sodic soil. Subsoiling treatment provided beneficial effects decreasing soil exchangeable sodium percentage (ESP) and pH levels. Gypsum treatments increased soil exchangeable-Ca and salinity levels and decreased ESP to levels lower than 15% in soil layer depth to 0-0.15 m. Farmyard manure treatment decreased ESP levels, especially when associated with subsoiling and gypsum treatment. There is a natural imbalance in K:Ca:Mg ratios that increases with gypsum treatments requiring soil potassium correction in order to reach the equilibrium. The ratios between exchangeable and soluble cations ranged from 13 to 16:1 for calcium and magnesium and from 0.3 and 3.9:1 for sodium. Among the soluble cations, sodium was the only one decreased by subsoiling.*

*Index terms: salinity, sodicity, gypsum, farmyard manure, Copernica cerifera straw, cation ratio.*

## INTRODUÇÃO

Os solos afetados por sais não têm a mesma dimensão geográfica dos solos ácidos, mas representam 10% das terras do globo (Szabolcs, 1989). Em termos comparativos, esses solos situam-se em classes opostas, pois, enquanto os solos ácidos têm  $\text{pH} < 7$ , são deficientes em bases trocáveis, apresentam cátion dominante floculante (Al e, ou, H), os problemas são de ordem química e de fácil correção na camada superficial, os solos afetados por sais geralmente têm  $\text{pH} > 7$ , bases trocáveis em excesso, apresentam cátion dominante dispersante (Na) e os problemas são de natureza química e física, sendo de difícil manejo e correção. Assim, como a falta de bases trocáveis no solo causa deficiência de nutrientes para as plantas, o excesso de bases pode acarretar desequilíbrios nutricionais ou causar toxidez, constituindo também um sério problema.

A salinidade do solo é medida pela condutividade elétrica no extrato de saturação ( $C.E_{es}$ ), enquanto a sodicidade é avaliada pela porcentagem de sódio trocável (PST) no complexo de troca de cátions do solo. Valores de  $C.E_{es}$  acima de  $4 \text{ dS m}^{-1}$  e de PST acima de 15% caracterizam o solo como salino-sódico (Estados Unidos, 1990).

A correção de solos salino-sódicos compreende o uso de condicionadores químicos e, ou, orgânicos, práticas mecânicas e lavagem dos sais. O gesso é o condicionador químico mais empregado como fonte de cálcio para substituição do sódio trocável, que pode ser lixiviado, com conseqüente redução da sodicidade do solo (Ferreyrah & Coelho, 1986;

Armstrong & Tanton, 1992; Santos, 1995), aumentando, dessa forma, o cálcio trocável no solo (Silva, 1978; Cavalcante, 1984; Lucena, 1986; Santos, 1995). O gesso interfere na salinidade do solo, aumentando-a, inicialmente, pela liberação de eletrólitos e diminuindo-a, no decorrer do tempo, por melhorias na permeabilidade que favorecem a lixiviação de sais (Gupta & Bajpai, 1977; Gheyi et al., 1995 e Santos, 1995). Nos solos salino-sódicos, por serem alcalinos, a disponibilidade relativa de nutrientes pode ser afetada (Oliveira, 1988; Malavolta et al., 1993); no entanto, a condição pode ser amenizada pelo uso do gesso (Singh & Singh, 1989; Dubey & Mondal, 1994; Santos, 1995).

Práticas mecânicas, como subsolagem, aumentam a infiltração de água no solo e favorecem a redução da salinidade e sodicidade do solo (Silva, 1978); quando associadas à gessagem, promovem a adequação dessas características em toda a zona radicular (Rasmussen et al., 1972).

Os condicionadores orgânicos (como fonte de cálcio e magnésio) reduzem a PST do solo, sendo mais eficiente o esterco de curral (Puttaswamygowda & Pratt, 1973). Podem, no entanto, apresentar alguma inconveniência; como fonte biológica de sais, em quantidades elevadas podem contribuir para a ocorrência de desequilíbrios nutricionais (Ayers & Westcot, 1991; Kovda & Minashina, citados por Szabolcs, 1989).

Este trabalho teve como objetivo avaliar o efeito de condicionadores e da subsolagem em algumas características químicas de um solo aluvial salino-sódico.

## MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi realizada em solo aluvial salino-sódico de textura franco-siltosa, da região do baixo Açu (RN) e consistiu de dois sistemas de manejo do solo (SS = preparo convencional com aração + gradagem e CS = preparo convencional + subsolagem a 0,50 m de profundidade) e da aplicação de condicionadores: (G) = gesso - 30 t ha<sup>-1</sup>, (E) = esterco de curral (20 t ha<sup>-1</sup>, base seca), (G + E) = gesso (30 t ha<sup>-1</sup>) + esterco (20 t ha<sup>-1</sup>), (P) = palha de carnaúba (20 t ha<sup>-1</sup>, base seca), (P + G) = palha de carnaúba (20 t ha<sup>-1</sup>) + gesso (30 t ha<sup>-1</sup>) e (T) = testemunha (sem condicionador).

O efeito do preparo do solo foi avaliado como experimentos em grupo, com dois ensaios instalados lado a lado, separados por uma faixa de 5 m sem cultura. O delineamento dos ensaios foi em blocos ao acaso, em esquema de parcelas subdivididas, com seis tratamentos (condicionadores), duas profundidades do solo - subparcelas (0-0,15 e 0,15-0,30 m), com quatro repetições. As parcelas foram dimensionadas de 6,0 x 10,0 m, com 36 m<sup>2</sup> de área útil, perfazendo cada ensaio 2.700 m<sup>2</sup>, incluindo faixas em branco de 5 m entre os blocos e 3 m entre as parcelas, para prevenir riscos de interferências entre os tratamentos testados.

A subsolagem foi realizada antes da aplicação dos condicionadores, a uma profundidade de 0,50 m e com espaçamento de 1 m, utilizando trator de pneu com subsolador de duas hastas tipo bico-de-pato.

Os condicionadores foram aplicados a lanço e incorporados com grade aradora, em abril/1990. A dosagem de gesso empregada correspondeu à recomendação integral para redução da PST a 15% na camada de 0-0,40 m, estimada com base na PST atual e na CTC do solo, conforme método descrito em Pizarro (1985).

Os ensaios foram realizados sob condições naturais de drenagem e compreenderam amostragens de solo com trado de "caneco", fazendo-se cinco amostras simples por parcela, para formação de uma amostra composta. As amostras de solo foram coletadas em camadas de 0-0,15 e 0,15-0,30 m, aos nove meses da aplicação dos tratamentos, determinando-se pH, condutividade elétrica do extrato saturado do solo (C.E<sub>es</sub>), cátions extraíveis, solúveis e trocáveis e cálculo da PST.

O pH foi determinado em água (1:2,5), e os cátions, extraíveis em solução de acetato de amônio 1 mol L<sup>-1</sup> (pH 7,0). O preparo, a extração e as determinações de cátions solúveis no extrato saturado do solo foram efetuados, utilizando o método preconizado por Richards (1974). As determinações de sódio e potássio foram feitas em fotômetro de chama; as de cálcio e magnésio, em espectrofotômetro de absorção atômica. O hidrogênio foi extraído em acetato de cálcio 0,5 mol L<sup>-1</sup> (pH 7,0)

e determinado por titulação com hidróxido de sódio 0,1 mol L<sup>-1</sup>, usando fenolftaleína como indicador. Os valores de cátions trocáveis foram obtidos por diferença entre extraíveis e solúveis. A porcentagem de saturação de sódio trocável no solo (PST) foi obtida por meio da relação da concentração de sódio trocável com o total das concentrações de cátions trocáveis, pelo método usual de cálculo:  $PST = 100 \text{ Na CTC}^{-1}$ .

No período, foi efetuado um cultivo de arroz irrigado por aspersão, com lâmina total de água de cerca de 700 mm. A água usada na irrigação foi classificada como de baixa salinidade, média sodicidade e sem problemas de toxicidade de sódio e, ou, cloro (Pizarro, 1985; Ayers & Westcot, 1991).

Utilizaram-se a C.E<sub>es</sub> e a PST como medidas de avaliação das condições químicas do solo, representando os níveis de salinidade e sodicidade; foram adotados, como limites de classes de comparação, os valores 4 dS m<sup>-1</sup> e 15%, respectivamente. Os resultados de cátions trocáveis, pH, C.E<sub>es</sub> e PST, foram submetidos à análise de variância com teste F (P < 0,05) e à comparação de médias pelo teste de Tukey (P < 0,05).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Entre os cátions trocáveis no solo estudado, o cálcio é o mais abundante no complexo de troca, seguido pelo sódio, em condições naturais, sem uso de condicionadores (Quadros 1 e 2). Os resultados de cálcio trocável foram influenciados significativamente pelo uso de condicionadores e pela profundidade do solo, cuja interação entre ambos foi significativa (P < 0,05); os de magnésio tiveram influência apenas da subsolagem; os de sódio, da subsolagem e profundidade, e os de potássio, somente da profundidade, com valores mais elevados na camada superficial (P < 0,01).

O gesso, sozinho ou combinado aos condicionadores orgânicos, proporcionou os maiores valores de cálcio trocável, determinados na camada de 0-0,15 m do solo. Nos demais tratamentos, independentemente da profundidade do solo, e nos tratamentos com gesso, na profundidade de 0,15-0,30 m, os valores de cálcio trocável não diferiram entre si (Quadro 1). Por ser o gesso fonte de cálcio é natural que, com a aplicação desse condicionador, os teores do elemento no solo aumentem na camada de solo incorporada, concordando, dessa forma com os resultados obtidos por Silva (1978), Cavalcante (1984), Lucena (1986) e Santos (1995). A área com subsolagem contém, naturalmente, mais magnésio trocável do que a não subsolada, o que explica os valores mais elevados ali determinados.

Avaliando os teores de potássio, cálcio e magnésio trocáveis no solo, observa-se que, enquanto a relação K:Ca:Mg situou-se entre 1:21:7 a 1:35:14, nas áreas

**Quadro 1. Cátions trocáveis em camadas do solo, sob efeito de subsolagem/condicionadores**

Profundidade	Condicionador <sup>(1)</sup>	Cátions trocáveis					
		Cálcio		Magnésio		Potássio	
		SS <sup>(2)</sup>	CS <sup>(3)</sup>	SS <sup>(2)</sup>	CS <sup>(3)</sup>	SS <sup>(2)</sup>	CS <sup>(3)</sup>
m		mmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>					
0-0,15	G	152,9ab		32,7 a	36,0 a		3,3 a
	E	103,9 c		31,7 a	42,7 a		3,8 a
	G + E	181,3 a		34,6 a	37,2 a		3,7 a
	P	100,1 c		35,6 a	41,0 a		4,1 a
	G + P	150,5 b		35,8 a	35,9 a		3,9 a
	T	93,3 c		29,1 a	39,8 a		3,8 a
Média		130,3 A		33,3 A	38,8 A		3,8 A
0,15-0,30	G	112,4 c		32,7 a	33,1 a		3,0 a
	E	97,7 c		26,8 a	41,4 a		3,4 a
	G + E	112,3 c		32,4 a	39,4 a		3,1 a
	P	94,9 c		31,5 a	38,7 a		3,0 a
	G + P	107,0 c		32,4 a	37,8 a		3,0 a
	T	94,1 c		30,1 a	36,3 a		3,2 a
Média		103,1 B		31,0 A	37,8 A		3,1 B
Média de subsolagem		114,5 A	118,8 A	32,1 A	38,3 B	3,6 A	3,3 A
Valor F <sup>(4)</sup> Subs. (S)		0,67 <sup>ns</sup>		13,20*		1,23 <sup>ns</sup>	
Valor F Cond. (C)		11,95**		0,36 <sup>ns</sup>		0,19 <sup>ns</sup>	
Valor F Prof. (P)		70,19**		1,63 <sup>ns</sup>		19,6**	
Valor F (C x P)		15,20**		0,14 <sup>ns</sup>		0,51 <sup>ns</sup>	
C.V. Cond. (%)		12,3		23,7		28,9	
C.V. Prof. (%)		13,7		16,5		20,1	

<sup>(1)</sup>G:Gesso; E:Estercos de curral; P:Palha de carnaúba; T:Testemunha. <sup>(2)</sup>SS: sem subsolagem; <sup>(3)</sup>CS: com subsolagem. <sup>(4)</sup>Consideradas apenas as interações significativas. Médias de tratamentos ou interações: <sup>ns</sup> não diferem entre si (P < 0,05); \*diferem (P < 0,05); \*\*diferem (P < 0,01). Para determinado elemento e comparações no sentido vertical, médias seguidas de mesma letra minúscula, em uma mesma profundidade do solo, e de letras maiúsculas, para as duas profundidades, não diferem entre si (P < 0,05).

testemunha e só com a incorporação de condicionadores orgânicos; nos tratamentos com gesso e combinações, tal relação variou de 1:33:10 a 1:55:11 (Quadro 2). Naturalmente existe um desbalanço que se acentua com a gessagem, necessitando de uma correção do potássio trocável do solo para se estabelecer um equilíbrio em proporções mais adequadas para a maioria das culturas, situando a relação entre 1:9:3 e 1:25:5 (Potash & Phosphate Institute, citado por Malavolta et al., 1993). O desequilíbrio nas relações de cátions, nessas áreas, é admitido por Oliveira (1988) como o problema mais importante para o estabelecimento de culturas, superando a própria saturação com sódio.

A subsolagem sozinha contribuiu para uma redução superior a 48%, em valores relativos, na PST

da camada de 0-0,15 m do solo, em relação à testemunha (Quadro 3). O efeito da subsolagem na diminuição do sódio trocável e a conseqüente redução da PST reforçam a hipótese de existência de camadas impermeáveis no solo, condição mais limitante para redução da sodicidade. A subsolagem, rompendo parte dessas camadas, favorece a infiltração da água, com o deslocamento de sais para camadas mais profundas do solo, no que concordam os resultados de Rasmussen et al. (1972) e Silva (1978). Como a PST é maior na camada mais profunda do solo (P < 0,01), é provável que a condição de umidade e o tempo decorrido da aplicação dos tratamentos não tenham favorecido o deslocamento de cátions para profundidades maiores que 0,15-0,30 m.

No rol dos cátions trocáveis, pela sua valência e raio iônico hidratado, o sódio situa-se no último lugar

**Quadro 2. Valores de pH e relação entre cátions trocáveis nas duas camadas do solo, sob efeito de subsolagem/condicionadores**

Profundidade	Condicionador <sup>(1)</sup>	pH		Relação K:Ca:Mg	
		SS <sup>(2)</sup>	CS <sup>(3)</sup>	SS <sup>(2)</sup>	CS <sup>(3)</sup>
m					
0-0,15	G	7,4 a	6,8 a	1:50:10	1:43:11
	E	8,1 a	6,8 a	1:29:09	1:26:10
	G + E	7,0 a	6,7 a	1:44:09	1:55:11
	P	7,4 a	6,8 a	1:22:08	1:29:12
	G + P	6,9 a	6,7 a	1:40:10	1:37:09
	T	8,0 a	6,8 a	1:21:07	1:29:11
Média		7,5 A	6,8 A	1:34:09	1:37:11
0,15-0,30	G	7,9 a	7,5 a	1:39:10	1:36:12
	E	8,2 a	6,7 a	1:29:09	1:29:12
	G + E	7,7 a	6,9 a	1:33:10	1:40:13
	P	7,8 a	6,9 a	1:29:10	1:35:14
	G + P	7,5 a	7,0 a	1:35:11	1:38:13
	T	7,9 a	7,2 a	1:26:08	1:34:13
Média		7,8 B	7,0 B	1:32:10	1:35:13
Média de subsolagem		7,6 A	6,9 B	1:32:09	1:36:12
Valor F <sup>(4)</sup> Subs. (S)			22,66**		
Valor F Cond. (C)			0,98 <sup>ns</sup>		
Valor F Prof. (P)		15,84**	15,94**		
Valor F (C x P)			2,67*		
C.V. Cond. (%)			6,4		
C.V. Prof. (%)			3,9		

<sup>(1)</sup>G:Gesso; E:Estercos de curral; P:Palha de carnaúba; T:Testemunha. <sup>(2)</sup>SS: sem subsolagem; <sup>(3)</sup>CS: com subsolagem. <sup>(4)</sup>Consideradas apenas as interações significativas. Médias de tratamentos ou interações: <sup>ns</sup> não diferem entre si ( $P < 0,05$ ); \*diferem ( $P < 0,05$ ); \*\*diferem ( $P < 0,01$ ). Médias de pH seguidas de mesma letra no sentido vertical, em cada profundidade do solo, e no sentido horizontal, para a variável subsolagem, não diferem entre si ( $P < 0,05$ ).

quanto à seletividade de adsorção (série liotrópica), o que em si é um fator favorável à sua substituição, pois, em condições de igualdade de concentração, é adsorvido na ordem de cargas após o preenchimento por  $H^+ \gg Al^{3+} > Ca^{2+} > Mg^{2+} > K^+ > NH_4^+ > Na^+$ . O hidrogênio é uma exceção, tem menor massa atômica, mas alta energia de adsorção, da ordem de quatro vezes a do cálcio e 17 vezes a do sódio (Yagodin, 1984). Assim, a oportunidade para o sódio se deslocar no perfil do solo é incrementada pela subsolagem.

Em todos os tratamentos com gesso, a PST na camada de 0-0,15 m do solo ficou abaixo de 15% (Quadro 3). Na área sem subsolagem, o efeito dos condicionadores na PST ficou restrito à camada de 0-0,15 m, proporcionando à combinação do gesso + esterco de curral menor valor de PST do que o obtido na testemunha ou na área só com o esterco de curral ( $P < 0,05$ ). Com gesso sozinho, a PST foi

inferior à determinada na testemunha ( $P < 0,05$ ), concordando com as reduções de PST obtidas por Ferreyrah & Coelho (1986), Armstrong & Tanton (1992) e Santos (1995), sendo explicadas pelo aumento do cálcio trocável, acentuando as reações de troca com substituição do sódio trocável no complexo sortivo do solo. Na área subsolada, existem fortes indícios de melhorias na PST pelo uso combinado de gesso + orgânicos, nas duas camadas de solo. Na camada de 0,15-0,30 m do solo, o efeito do esterco de curral favoreceu para menor valor de PST do que nos tratamentos testemunha e só com palha de carnaúba ( $P < 0,05$ ).

Os condicionadores orgânicos foram mais benéficos, quando associados ao gesso. Conforme afirmam Puttaswamygowda & Pratt (1973), o esterco de curral foi o mais eficiente dos condicionadores orgânicos, especialmente na área subsolada,

provavelmente por ser de mais fácil decomposição e o seu efeito salinizante ser de curta duração. Não se constatou inconveniência do uso dos condicionadores orgânicos, como alertaram Ayers & Westcot (1991) e Kovda & Minashina, citados por Szabolcs (1989).

O pH da área subsolada foi menor do que o da não subsolada ( $P < 0,01$ ), aparentemente sem relação com os condicionadores aplicados (Quadro 2). Sem subsolagem, os valores de pH na profundidade de 0-0,15 m tendem a ser menores nas áreas tratadas com gesso, indicando que o mesmo contribui para o abaixamento do pH. Reduzindo a alcalinidade, quer por gessagem quer por subsolagem, previnem-se os problemas de disponibilidade relativa de nutrientes no solo relatados por Oliveira (1988) e Malavolta et al. (1993). As diminuições no pH do solo, em valores absolutos, concordam com os resultados obtidos por

Singh & Singh (1989), Dubey & Mondal, (1994) e Santos (1995) e se justificam pelo deslocamento de bases trocáveis (sódio) para camadas mais profundas, possibilitando a ocupação de parte dos sítios de troca por hidrogênio proveniente da dissociação iônica da água; carbonatos e parte dos bicarbonatos, responsáveis pela alcalinidade, formam complexos de baixa solubilidade com o cálcio, e o próprio aumento da concentração de eletrólitos na solução do solo pode contribuir para o abaixamento do pH.

A gessagem contribuiu para o aumento da salinidade do solo na camada de 0-0,15 m (Quadro 3). Os valores de  $C.E_{es}$  nas áreas apenas com condicionadores orgânicos e na testemunha foram menores do que na com gesso sozinho ou combinado com esterco de curral ( $P < 0,05$ ); mesmo assim, o solo

**Quadro 3. Parâmetros químicos relacionados com a afetação de sais no solo sob efeito do manejo com e sem subsolagem e do uso de condicionadores**

Profundidade	Condicionador <sup>(1)</sup>	C.E <sub>es</sub>		Sódio		PST	
		SS <sup>(2)</sup>	CS <sup>(3)</sup>	SS <sup>(2)</sup>	CS <sup>(3)</sup>	SS <sup>(2)</sup>	CS <sup>(3)</sup>
m		dS m <sup>-1</sup>		mmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>		%	
0-0,15	G	6,44 a		35,5 a	20,8 a	14,33 bc	9,70 a
	E	3,72 b		71,7 a	26,9 a	31,72 ab	13,81 a
	G + E	6,31 a		24,6 a	18,4 a	10,38 c	7,46 a
	P	3,68 b		56,5 a	42,7 a	26,89 abc	22,17 a
	G + P	5,44 ab		30,0 a	27,7 a	12,90 bc	12,73 a
	T	4,07 b		73,1 a	36,7 a	35,99 a	18,64 a
Média		4,94 A		48,2 A	28,9 A	22,04 A	14,09 A
0,15-0,30	G	4,89 a		70,2 a	69,5 a	28,96 a	32,43 ab
	E	3,14 a		92,9 a	35,2 a	40,93 a	17,21 b
	G + E	4,44 a		83,9 a	43,6 a	36,37 a	19,29 ab
	P	3,72 a		91,3 a	89,8 a	39,69 a	36,76 a
	G + P	4,21 a		71,6 a	62,0 a	31,61 a	26,79 ab
	T	4,08 a		85,0 a	87,7 a	37,45 a	37,29 a
Média		4,08 B		82,5 B	64,6 B	35,84 B	28,30 B
Média de subsolagem		4,76 A	4,39 A	65,3 A	45,9 B	29,57 A	21,29 B
Valor F <sup>(4)</sup> Subs. (S)		1,85 <sup>ns</sup>		7,14*		7,03*	
Valor F Cond. (C)		7,91*		1,95 <sup>ns</sup>		2,96*	2,73*
Valor F Prof. (P)		14,34**		41,6**		40,66**	
Valor F (C x P)		1,73 <sup>ns</sup>		0,61 <sup>ns</sup>		0,76 <sup>ns</sup>	
C.V. Cond. (%)		29,0		63,8		32,5	
C.V. Prof. (%)		23,0		46,8		22,7	

<sup>(1)</sup>G:Gesso; E:Esterco de curral; P:Palha de carnaúba; T:Testemunha. <sup>(2)</sup>SS: sem subsolagem; <sup>(3)</sup>CS: com subsolagem. <sup>(4)</sup>Consideradas apenas as interações significativas. Médias de tratamentos ou interações: <sup>ns</sup> não diferem entre si ( $P < 0,05$ ); \* diferem ( $P < 0,05$ ); \*\*diferem ( $P < 0,01$ ). Para determinado elemento, médias seguidas de mesma letra maiúscula na horizontal não diferem entre si ( $P < 0,05$ ). Para uma mesma profundidade do solo, médias de  $C.E_{es}$  (condutividade elétrica no extrato de saturação) e numa mesma coluna médias de sódio ou PST (porcentagem de sódio trocável) seguidas de mesma letra, não diferem entre si ( $P < 0,05$ ).

continua salino ou próximo do limite de salinidade ( $C.E_{es} \geq 4 \text{ dS m}^{-1}$ ) em todas as situações, o que poderá ser contornado com um aumento na lâmina de água de irrigação. O gesso, como fonte de eletrólitos para a solução do solo, é natural que, inicialmente, aumente a sua salinidade. Nesse sentido, concordam os trabalhos de Gupta & Bajpai (1977) e Santos (1995); entretanto, ao longo do tempo, exercendo efeito amenizador na impermeabilização do solo pela substituição do cátion dispersante (Na) por um floculante (Ca), aumentará a sua condutividade hidráulica, favorecendo a infiltração da água, com diminuição da salinidade do solo, conforme observaram Gheyi et al. (1995).

Quanto aos cátions solúveis, o sódio lidera, assumindo em torno de 70% do total (Quadro 4). A subsolagem diminuiu o sódio solúvel no solo e favoreceu para que sua concentração média não diferisse entre as duas profundidades ( $P < 0,05$ ). O cálcio e o potássio solúveis apresentaram maiores

concentrações na camada de 0-0,15 m do solo e, juntamente com o sódio, tiveram os valores mais elevados sempre associados à prática da gessagem (Quadro 4). As proporções entre cátions trocáveis e solúveis evidenciam o maior poder tampão do cálcio e magnésio, situando-se entre 13 e 16:1, na camada de 0-0,15 m do solo. Para o sódio, tais proporções variaram de 0,3 a 3,9:1 e foram influenciadas pela presença do gesso que, como fonte de cálcio, acentua as reações de troca, reduz o sódio trocável e aumenta o sódio solúvel.

## CONCLUSÕES

1. A gessagem, sozinha ou combinada ao uso de condicionadores orgânicos, proporcionou maiores valores de cálcio trocável no solo, reduziu a PST para menos de 15% na camada de 0-0,15 m e aumentou a salinidade.

**Quadro 4. Composição de cátions solúveis em camadas do solo sob efeito do manejo com e sem subsolagem e do uso de condicionadores**

Profundidade	Condicionador <sup>(1)</sup>	Cátions solúveis							
		Cálcio		Magnésio		Sódio		Potássio	
		SS <sup>(2)</sup>	CS <sup>(3)</sup>	SS <sup>(2)</sup>	CS <sup>(3)</sup>	SS <sup>(2)</sup>	CS <sup>(3)</sup>	SS <sup>(2)</sup>	CS <sup>(3)</sup>
		mmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>							
m									
0-0,15	G	11,3 a		2,6 a		39,0 ab	27,6 a		0,39 a
	E	7,1 b		2,5 a		24,1 bc	15,7 b		0,24 ab
	G + E	13,1 a		2,6 a		46,7 a	22,1 ab		0,39 a
	P	7,2 b		2,7 a		23,7 c	18,7 ab		0,19 b
	G + P	10,8 a		2,6 a		29,4 bc	17,7 b		0,36 ab
	T	6,1 b		2,3 a		18,8 c	20,3 ab		0,15 b
	Média	9,3 A		2,6 A		30,3 A	20,4 A		0,29 A
0,15-0,30	G	7,9 b		2,3 a		33,4 a	24,5 a		0,20 b
	E	6,4 b		2,2 a		18,3 b	12,8 b		0,12 b
	G + E	8,3 b		2,6 a		24,8 ab	25,1 a		0,17 b
	P	6,7 b		2,5 a		23,7 ab	17,5 ab		0,16 b
	G + P	7,7 b		2,5 a		27,3 ab	19,2 ab		0,18 b
	T	6,4 b		2,2 a		19,4 b	21,0 ab		0,12 b
	Média	7,2 B		2,4 A		24,5 B	20,0 A		0,16 B
Média de subsolagem		8,4 A	8,0 A	2,4 A	2,6 A	27,4 A	20,2 B	0,22 A	0,22 A
Valor F <sup>(4)</sup> Subs. (S)		1,15 <sup>ns</sup>		2,42 <sup>ns</sup>		13,61*		0,008 <sup>ns</sup>	
Valor F Cond. (C)		15,99**		0,68 <sup>ns</sup>		4,96**		4,13*	
Valor F Prof. (P)		46,99**		3,90 <sup>ns</sup>		8,40**		0,16 <sup>ns</sup>	
Valor F (C x P)		7,10**		0,81 <sup>ns</sup>		1,56 <sup>ns</sup>		1,53 <sup>ns</sup>	
C.V. Cond. (%)		21,96		25,06		30,15		28,64	
C.V. Prof. (%)		17,92		15,98		18,70		14,14	

<sup>(1)</sup>G:Gesso; E:Estercos de curral; P:Palha de carnaúba; T:Testemunha. <sup>(2)</sup>SS: sem subsolagem; <sup>(3)</sup>CS: com subsolagem. <sup>(4)</sup>Consideradas apenas as interações significativas. Médias de tratamentos ou interações: <sup>ns</sup> não diferem entre si ( $P < 0,05$ ); \* diferem ( $P < 0,05$ ); \*\* diferem ( $P < 0,01$ ). Para determinado elemento e numa mesma coluna, médias seguidas de mesma letra não diferem entre si ( $P < 0,05$ ).

2. O preparo do solo envolvendo subsolagem reduziu a porcentagem de sódio trocável (PST) e abaixou o pH do solo.

3. O esterco de curral foi benéfico na redução da PST, principalmente quando associado à subsolagem e à gessagem.

4. A gessagem acentuou o desbalanço natural das relações de cátions trocáveis K:Ca:Mg do solo, necessitando de correção potássica.

5. Entre os cátions trocáveis, o cálcio é o mais abundante; entre os cátions solúveis, o sódio é o de maior concentração e foi o único que diminuiu com a subsolagem.

6. Na camada de 0-0,15 m do solo, o cálcio e magnésio trocáveis ficaram numa proporção entre 13 e 16:1, em relação às formas solúveis, enquanto para o sódio essa relação situou-se entre 0,3 e 3,9:1.

### LITERATURA CITADA

- ARMSTRONG, A.S.B. & TANTON, T.W. Gypsum applications to aggregated saline-sodic clay topsoils. *J. Soil Sci.*, 43:249-260, 1992.
- AYERS, R.S. & WESTCOT, D.W. A qualidade da água na agricultura. Tradução de GHEYI, H. R., MEDEIROS, J.F. & DAMASCENO, F.A.V. Campina Grande, UFPB, 1991. 218p. (FAO. Irrigação e Drenagem, 29)
- CAVALCANTE, L.F. Efeito do fosfogesso em solos salinizados da Paraíba cultivados com feijão vigna. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, 1984. 94p. (Tese de Doutorado)
- DUBEY, S.K. & MONDAL, R.C. Effect of amendments and saline irrigation water on soil properties and yields of rice and wheat in a highly sodic soil. *J. Agric. Sci.*, 122:351-57, 1994.
- ESTADOS UNIDOS. Department of Agriculture. Keys to soil taxonomy. 4.ed. Washington, USDA, 1990. 422p. (USDA. SMSS Technical Monograph, 6)
- FERREYRAH, F.F. & COELHO, M.A. Efeito de dose de gesso e subsolagem na produtividade de arroz em solo sódico. *R. Bras. Ci. Solo*, 10:157-161, 1986.
- GHEYI, H.R.; AZEVEDO, N.C.; BATISTA, M.A.F. & SANTOS, J.G.R. Comparação de métodos na recuperação de solo salino-sódico. *R. Bras. Ci. Solo*, 19:173-178, 1995.
- GUPTA, B.R. & BAJPAI, P.D. Effect of some inorganic ameliorants on reclamation and phosphorus availability in salt-affected soils. *Ind. J. Agric. Res.*, 11:87-103, 1977.
- LUCENA, E. R. Efeito da aplicação do fosfogesso em um solo salino-sódico. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, 1986. 94p. (Tese de Mestrado)
- MALAVOLTA, E.; MURAOKA, T. & BOARETTO, A.E. O solo como um meio para o crescimento das plantas. Piracicaba, CENA/USP, 1993. 47p.
- OLIVEIRA, M. Os solos e o ambiente agrícola no sistema Piranhas-Açu. Mossoró: ESAM/FGD, 1988. 314p. (Coleção Mossoroense, 380)
- PIZARRO, F. Drenaje agrícola y recuperación de suelos salinos. Madrid, Agrícola Española, 1985. 542p.
- PUTTASWAMYGOWDA, B.S. & PRATT, P.P. Effects of straw, calcium chlorid, and submergence on a sodic soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 37:208-212, 1973.
- RASMUSSEN, W.W.; MOORE, D.P. & ALBAN, L.A. Improvement of a Solonetzic (slick spot) soil by deep plowing, sub-soiling, and amendments. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 36:137-142, 1972.
- RICHARDS, L.A. Diagnostico y rehabilitacion de suelos salinos y sodicos. México, Limusa, 1974. 172p.
- SANTOS, R.V. Correção de um solo salino-sódico e absorção de nutrientes pelo feijão macassar (*Vigna unguiculata* L. Walp.). Piracicaba, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, 1995. 117p. (Tese de Doutorado)
- SILVA, M. J. Efeito de métodos de recuperação em solo com problemas de sais no projeto de irrigação de São Gonçalo-PB. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa. 1978. 54p. (Tese de Mestrado)
- SINGH, M.V.; SINGH, K.N. Reclamation techniques for improvement of sodic soils and crop yield. *Ind. J. Agric. Sci.*, 59:495-500, 1989.
- SZABOLCS, I. Salt-affected soils. Washington, Library of Congress, 1989. 274p.
- YAGODIN, B. A. Agricultural chemistry. Moscow, Mir Publishers, 1984. 375p.