

## RESÍDUO DE GESSO NA RECUPERAÇÃO DE SOLO SALINO-SÓDICO PROVENIENTE DE PERÍMETRO IRRIGADO DO SEMIÁRIDO BRASILEIRO<sup>1</sup>

NATÁLIA DE SOUZA CAVALCANTI<sup>2</sup>; MÁRIO MONTEIRO ROLIM<sup>3</sup>; JOSÉ  
AMILTON SANTOS JÚNIOR<sup>3</sup>; MARIA DE FÁTIMA CAVALCANTI BARROS<sup>3</sup>;  
ELVIRA MARIA REGIS PEDROSA<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Artigo extraído da Dissertação de Mestrado da primeira autora, apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da UFRPE

<sup>2</sup>Mestre em Engenharia Agrícola pela UFRPE.

Rua Dom Manuel de Medeiros, s/n, Dois Irmãos - CEP: 52171-900 - Recife/PE, Brasil, [nscavalcanti@gmail.com](mailto:nscavalcanti@gmail.com)

<sup>3</sup>Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da UFRPE. Rua Dom Manuel de Medeiros, s/n, Dois Irmãos - CEP: 52171-900 - Recife/PE, Brasil, [mario.rolim@ufrpe.br](mailto:mario.rolim@ufrpe.br); [joseamilton@ufrpe.br](mailto:joseamilton@ufrpe.br); [fatimabarros@hotmail.com](mailto:fatimabarros@hotmail.com); [elvira.pedrosa@ufrpe.br](mailto:elvira.pedrosa@ufrpe.br)

### 1 RESUMO

A análise do potencial de aproveitamento do resíduo de gesso proveniente da construção civil na recuperação de solos salino-sódico é relevante quanto a aspectos econômicos e ambientais. Portanto, o presente trabalho foi desenvolvido com o objetivo de comparar o efeito da incorporação prévia de  $\text{Ca}[\text{SO}_4] \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  na forma de gesso mineral e resíduo de gesso oriundo da construção civil, associado a aplicação semanal e intermitente de quatro lâminas de lixiviação, equivalentes a 1; 2; 3 e 4 vezes o volume de poros, sobre os trocáveis e solúveis de um Neossolo Flúvico salino-sódico oriundo do perímetro irrigado de Ibimirim-PE e disposto em colunas de solo. Adotou-se delineamento experimental inteiramente casualizado, em arranjo fatorial,  $2 \times 4$ , com cinco repetições, totalizando 40 unidades experimentais. Considerando-se os valores iniciais dos cátions trocáveis e solúveis, condutividade elétrica, pH, percentual de sódio trocável e razão de adsorção de sódio, verificou-se, após o experimento, que o processo de recuperação do Neossolo Flúvico salino-sódico utilizando resíduo de gesso da construção civil como corretivo químico proporcionou resultados similares aos obtidos utilizando-se o gesso mineral, quando associado a aplicação de uma lâmina de lixiviação equivalente a 3 vezes o volume de poros.

**Palavras-chave:** solúveis, trocáveis, Neossolo Flúvico

CAVALCANTI, N. de S.; ROLIM, M. M.; SANTOS JÚNIOR, J. A.; BARROS, M. de F. C.; ELVIRA PEDROSA, E. M. R.  
GYPSUM WASTE TO RECOVER SALINE-SODIC SOIL FROM IRRIGATED  
PERIMETER OF THE BRAZILIAN SEMIARID

### 2 ABSTRACT

The analysis of the potential of use of gypsum waste from construction industry in the recovery of saline-sodic soils is relevant to economic and environmental aspects. Therefore, the present work was developed with the objective of comparing the effect of previous incorporation of

Ca[SO<sub>4</sub>] $\cdot$ 2H<sub>2</sub>O in the form of mineral gypsum and gypsum waste from civil construction combined with weekly and intermittent application of four leaching depths, equivalent to 1; 2; 3 and 4 times the pore volume, on chemical parameters of a saline-sodic Fluvisol from the irrigated perimeter Ibimirim-PE using soil columns. The experimental design was completely randomized in a factorial arrangement 2 $\times$ 4, with five replications, totaling 40 experimental units. Considering the initial values of soluble and exchangeable cations, electrical conductivity, pH, percentage of exchangeable sodium and sodium adsorption ratio, the recovery process of saline-sodic Fluvisol using gypsum waste from civil construction as a chemical concealer showed results similar to those obtained using mineral gypsum for soil recovery when combined with a leaching blade equivalent to 3 times the pore volume.

**Keywords:** soluble, exchangeable, Fluvisol

### 3 INTRODUÇÃO

Com o aquecimento da cadeia produtiva da construção civil (FIESP, 2015), problemas relacionados a destinação dos resíduos de materiais de construção foram majorados pela inviabilidade da reincorporação de certos materiais (BRASIL, 2002) ou por questões de logística, como é o caso do gesso (BRASIL, 2011), cuja reciclagem é obrigatória com logística reversa, ou seja, o resíduo de gesso deve retornar para o local onde foi extraído (BRASIL, 2010).

Neste cenário e estimando-se que a perda de gesso na construção civil é da ordem de 30%, com custo de depósito em locais licenciados de US\$ 55.00 m<sup>-3</sup> (PAVI et al., 2013), é evidente a necessidade do desenvolvimento de diferentes formas de reaproveitamento que subsidiem políticas públicas e normas brasileiras. Menciona-se, por exemplo, o reaproveitamento de gesso no processo produtivo do cimento (FERREIRA; CRUVINEL, 2014), no entanto, o consumo anual de gesso na agricultura brasileira é da ordem de 4,5 milhões de toneladas (BARBOSA; FERRAZ; SANTOS, 2014), sendo esta uma destinação potencial para o resíduo de gesso da construção civil (SANTOS et al., 2014).

Dentre as aplicações do gesso na agricultura, cita-se o uso na recuperação de

solos sódicos e salino-sódicos em perímetros irrigados do Brasil, haja vista que a sua amplitude abrange cerca de 25% a 30% destas áreas (SILVA et al., 2014). A origem deste desequilíbrio também está relacionada ao manejo inadequado da irrigação e a problemas de drenagem, que adiciona e não retira sais do sistema, de modo que os solos salino-sódicos são formados pela incorporação do excesso de cátions solúveis de sódio ao complexo de troca e pelo acúmulo sucessivo de sais na solução do solo, passando a apresentar configuração específica ( $CE_{es} > 4$  dS m<sup>-1</sup>; PST > 15% e pH < 8,5) (RICHARDS, 1954).

Ao passo que o acúmulo de sais na solução do solo reduz o potencial osmótico, exigindo das plantas maior investimento de energia para absorção de água e nutrientes (SANTOS et al., 2015), também gera distúrbios no balanço de íons, ocasionando toxicidade por íons específicos nas plantas. Por outro lado, o excesso de sódio no complexo de troca afeta a dupla camada de íons junto à micela de argila, provocando a sua dispersão e, conseqüentemente, a compactação do solo, danificando a estrutura do solo e reduzindo a eficiência dos seus parâmetros físico-hídricos (GONÇALVES et al., 2011). Todos estes efeitos combinados impactam severamente a produção das culturas conforme relatado

por diversos autores (GUEDES FILHO et al., 2015; SÁ et al., 2015; SÁ et al., 2013).

Considerando, portanto, as perdas impostas à produção agrícola pela salinidade (PESSOA et al., 2010; RASOULI; POUYA; KARIMIAN, 2013) em solos salino-sódicos, a aplicação de  $\text{Ca}[\text{SO}_4]\cdot 2\text{H}_2\text{O}$  pode ser parte do processo de recuperação, uma vez que proporciona a substituição do sódio pelo cálcio no complexo de troca, deslocando-o para a solução do solo, o que viabiliza a lixiviação dos íons de sódio e, conseqüentemente, favorece a reincorporação destas áreas desativadas ao processo produtivo (SAHIN et al., 2011; SANTOS et al., 2014; SILVA et al., 2014)

Dito isto, o presente trabalho foi desenvolvido com o objetivo de comparar a eficiência do gesso mineral a do resíduo de gesso da construção civil, quando combinados com a aplicação de lâminas crescentes e intermitentes, no processo de recuperação de um Neossolo Flúvico salino-sódico proveniente do perímetro irrigado de Ibimirim-PE, região de abrangência do Semiárido Brasileiro.

#### 4 MATERIAL E MÉTODOS

As atividades experimentais foram conduzidas no Laboratório de Mecânica dos Solos do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal Rural de Pernambuco ( $8^{\circ}01'05''$  de lat. Sul e  $34^{\circ}5'48''$  de long. Oeste, altitude média de 6,5 m).

Utilizou-se como unidades experimentais colunas de PVC rígido medindo 20 cm de altura e 10 cm de diâmetro. Antes do preenchimento com solo (em duas camadas de 7,5 cm de altura e 0,70

$\text{dm}^3$  de solo), foram colocadas na extremidade inferior interna da coluna duas mantas geotêxtil (100% poliéster de 0,001 mm e 15 mm de abertura de malha) dispostas uma sobre a outra, com o objetivo de conter a passagem do solo através do dispositivo de drenagem acoplado na extremidade inferior da coluna. Este dispositivo constituiu-se de um CAP de PVC com uma mangueira de 0,5 cm de diâmetro e 5,0 cm de comprimento fixada ao centro do CAP e conectadas a garrafas PET de 0,5 litros, graduadas a cada 100 mL.

O delineamento experimental adotado foi o inteiramente casualizado, em arranjo fatorial,  $2 \times 4$ , com cinco repetições, totalizando 40 unidades experimentais. Os tratamentos consistiram na incorporação prévia de  $\text{Ca}[\text{SO}_4]\cdot 2\text{H}_2\text{O}$  em 100% da necessidade e disposto nos primeiros 7,5 cm da coluna (sentido topo base) oriundos de duas fontes distintas: (i) gesso mineral (GM), produto comercial extraído de jazida localizada em Araripina, PE e (ii) o resíduo de gesso da construção civil (RG), obtido diretamente na obra, ambos com granulometria  $< 0,3$  mm. Posteriormente, aplicou-se de forma intermitente e a cada sete dias, quatro lâminas de lixiviação equivalentes a 1; 2; 3 e 4 vezes o volume de poros ( $\text{VP} = 450$  mL de água).

O material de solo utilizado foi obtido em uma área do perímetro irrigado de Ibimirim-PE (latitude  $08^{\circ}32'26''$  Sul, longitude  $37^{\circ}41'25''$ , Oeste) cujo solo foi classificado como Neossolo Flúvico salino-sódico. Obteve-se as amostras entre 0-40 cm do perfil do solo e a sua coleta foi realizada conforme metodologia proposta por Santos et al. (2005). A caracterização física e química do solo (Tabela 1) foi realizada seguindo metodologia descrita pela Embrapa (1997) e Richards (1954).

**Tabela 1.** Características físico-químicas da amostra do Neossolo Fluvico salino-sódico

<b>Parâmetros físicos do solo</b>						
Dp	Ds	PT	k <sub>o</sub>	Análise Granulométrica		
				Areia	Silte	Argila
-----kg dm <sup>-3</sup> ----		%	cm h <sup>-1</sup>	----- g kg <sup>-1</sup> -----		
2,49	1,30	47,79	0,00	111,34	568,66	320,00
<b>Classificação Textural - Franco argilosiltoso</b>						
<b>Solúveis</b>						
Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	pH	CE	RAS
-----mmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup> -----					dS m <sup>-1</sup>	(mmol L <sup>-1</sup> ) <sup>1/2</sup>
304,59	1,02	61,92	7,63	6,90	37,85	51,70
<b>Trocáveis</b>						
Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	NG	CTC	PST
-----cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----						%
8,8	0,68	2,09	0,79	9,98	12,35	70,96

Dp- Densidade das partículas; Ds- Densidade do solo; PT- Porosidade total; k<sub>o</sub>- Condutividade hidráulica; CE- Condutividade elétrica; RAS- Relação de adsorção de sódio; NG- Necessidade de gesso; CTC- Capacidade de troca de cátions e PST- Percentagem de sódio trocável.

**Fonte:** Cavalcanti et al. (2019).

O clima da região de Ibimirim-PE, de acordo com a classificação de Köppen, é do tipo BSw'h', semiárido muito quente, com precipitação média anual de 454,0 mm, e temperatura do mês mais quente superior a 40 °C e a do mês mais frio inferior a 24 °C.

O gesso mineral (GM) utilizado foi obtido de um produto comercial extraído de jazida localizada em Araripina-PE e o resíduo de gesso (RG) foi recolhido do descarte de uma obra de construção civil em Recife-PE, sendo obtida amostra composta de todos os tipos de gesso utilizados na obra (gesso de placa, gesso de revestimento e gesso em bloco branco, rosa e azul) após processamento em moinho de bolas.

Visando uniformizar a granulometria, ambos os materiais de gesso foram peneirados em peneiras de 0,3 mm e caracterizados (EMBRAPA, 1997), sendo verificado 28,7% de CaO e 2,49% de MgO no gesso mineral e 25,9% de CaO e 1,99% de MgO no resíduo de gesso.

A necessidade de gesso (NG) foi determinada pelo método de Schoonover M-1, modificado por Barros e Magalhães (1989), para solos salino-sódicos de

Pernambuco, de modo a evitar superestimação da NG do solo.

As colunas de PVC preenchidas com solo foram saturadas com água destilada, protegidas da evaporação e mantidas em repouso por 24 h para restabelecimento do equilíbrio do sistema. Então, a lixiviação intermitente foi aplicada mantendo-se uma lâmina de água de 2 cm acima da superfície do solo, ou seja, aplicou-se uma lâmina referente a 1VP em todas as unidades experimentais e coletou-se e armazenou-se o respectivo lixiviado. Em seguida, repetiu-se a aplicação das lâminas de lixiviação conforme tratamento, repetindo-se o procedimento de coleta e armazenamento do lixiviado.

Ao final do experimento analisou-se os seguintes cátions trocáveis: K<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup>, Ca<sup>++</sup> e Mg<sup>++</sup> e, posteriormente calculou-se o percentual de sódio trocável (PST) e estimou-se o gesso residual (GR). Os cátions trocáveis no solo foram extraídos seguindo a metodologia descrita por Richards (1954). O cálcio e magnésio trocável foram determinados por espectrofotometria de absorção atômica; o sódio e o potássio, por fotometria de chama

(EMBRAPA, 1997). A partir dos valores obtidos de sódio trocável e da CTC obtida na caracterização do solo, foi calculada a porcentagem de sódio trocável (PST).

Analisou-se também os cátions solúveis, a saber:  $K^+$ ,  $Na^+$ ,  $Ca^{++}$  e  $Mg^{++}$ , obteve-se ainda a CE e o pH do extrato de saturação do solo e estimou-se a razão de adsorção de sódio (RAS) da solução do solo. Para obter-se os cátions solúveis, a pasta saturada foi preparada seguindo a metodologia descrita por Richards (1954), determinando-se também a CE e o pH no extrato de saturação do solo pela metodologia da Embrapa (1997) e a razão de adsorção de sódio (RAS) a partir dos valores de sódio, cálcio e magnésio.

Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância e, quando necessário, à análise de regressão. Nestes

casos, após a verificação do valor do coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e a significância dos coeficientes da equação de regressão adotou-se o modelo que melhor se ajustou. Todas as análises foram efetuadas em nível de 0,01 de probabilidade.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os teores de sódio ( $Na^+$ ), cálcio ( $Ca^{2+}$ ), potássio ( $K^+$ ) e magnésio ( $Mg^{2+}$ ) no complexo de troca, assim como a porcentagem de sódio trocável (PST) e gesso remanescente (GR) foram influenciados pela aplicação de gesso, exceto o  $Mg^{2+}$ , e pela lâmina de lixiviação. A interação entre os tratamentos influenciou todas estas variáveis, exceto  $K^+$  e  $Mg^{2+}$  (Tabela 2).

**Tabela 2.** Resumo da ANOVA para os teores de sódio ( $Na^+$ ), cálcio ( $Ca^{2+}$ ), potássio ( $K^+$ ), magnésio ( $Mg^{2+}$ ) no complexo de troca, porcentagem de sódio trocável (PST) e gesso remanescente (GR) no solo.

Fonte de variação	GL	Quadrado Médio					
		$Na^+$	$Ca^{2+}$	$K^+$	$Mg^{2+}$	PST	GR
Gesso (G)	1	0,3385**	0,4494**	0,0038**	0,0002 <sup>ns</sup>	20,7734**	0,0609**
Lâmina (L)	3	68,8671**	73,8966**	0,0583**	0,0037**	5128,43**	1,2743**
G × L	3	0,0202**	0,013**	0,004 <sup>ns</sup>	0,00003 <sup>ns</sup>	1,5595**	0,0086**
Resíduo	32	0,0017	0,0016	0,0006	0,00001	0,0585	0,0005
CV (%)	-	1,3	0,52	4,28	5,74	0,96	6,69

\*, \*\* significativo em 0,05 e 0,01 de probabilidade, respectivamente, e <sup>ns</sup> não significativo, pelo teste F. GL: Grau de liberdade e CV: coeficiente de variação.

Fonte: Cavalcanti et al. (2019).

Quanto ao sódio trocável, a partir de uma concentração inicial de  $8,8 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ , estimou-se, mediante equação de regressão, um decréscimo por incremento unitário da lâmina de lixiviação de 1,98 e  $2,03 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  sob aplicação de GM e RG, respectivamente (Figura 1A). Em relação ao cálcio trocável verificou-se tendência inversa, ou seja, acréscimo por incremento unitário da lâmina de lixiviação de 2,01 e  $2,10 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  sob aplicação de GM e RG, respectivamente (Figura 1B).

Em análise geral, a dissolução do gesso incorporado ao solo promoveu a

elevação da concentração de cálcio na superfície de troca, permitindo que os cátions adsorvidos, sobretudo o sódio, fossem substituídos pelo cálcio. Dentre outros fatores que viabilizaram esta troca, cita-se a maior concentração que o cálcio passou a ter na solução do solo, o menor raio iônico hidratado e a maior valência. Vale ressaltar que, embora tenha sido verificado tendências similares para o GM e RG, as taxas foram diferentes; resultados análogos também foram observados por Leite et al. (2010) em um solo salino-sódico

de Condado-PB, utilizando ácido sulfúrico e gesso agrícola.

A concentração relativa de potássio no complexo de troca decresceu à razão de  $0,059 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  por incremento unitário da lâmina de lixiviação (Figura 1C). Ou seja, a presença de potássio no complexo de troca após a aplicação do gesso e das lâminas de lixiviação deveu-se a capacidade do solo de manter o equilíbrio inicial entre as formas trocável e solúvel em relação ao suprimento de potássio.

Quanto ao magnésio trocável, verificou-se decréscimo à razão de  $0,016 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  por incremento unitário da lâmina de lixiviação e, na lâmina de 4 VP estimou-se, com base na equação de regressão (Figura 1D) um quantitativo de  $0,156 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ , valor que representa uma redução acumulada de 80,25% em relação ao valor inicial ( $0,79 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ). A solubilização do gesso e a consequente maior disponibilidade proporcional de cálcio para reações de troca, podem ter deslocado, além do sódio, cátions de magnésio, reduzindo assim sua concentração no complexo sortivo, conforme também comentado por Santos et al. (2014).

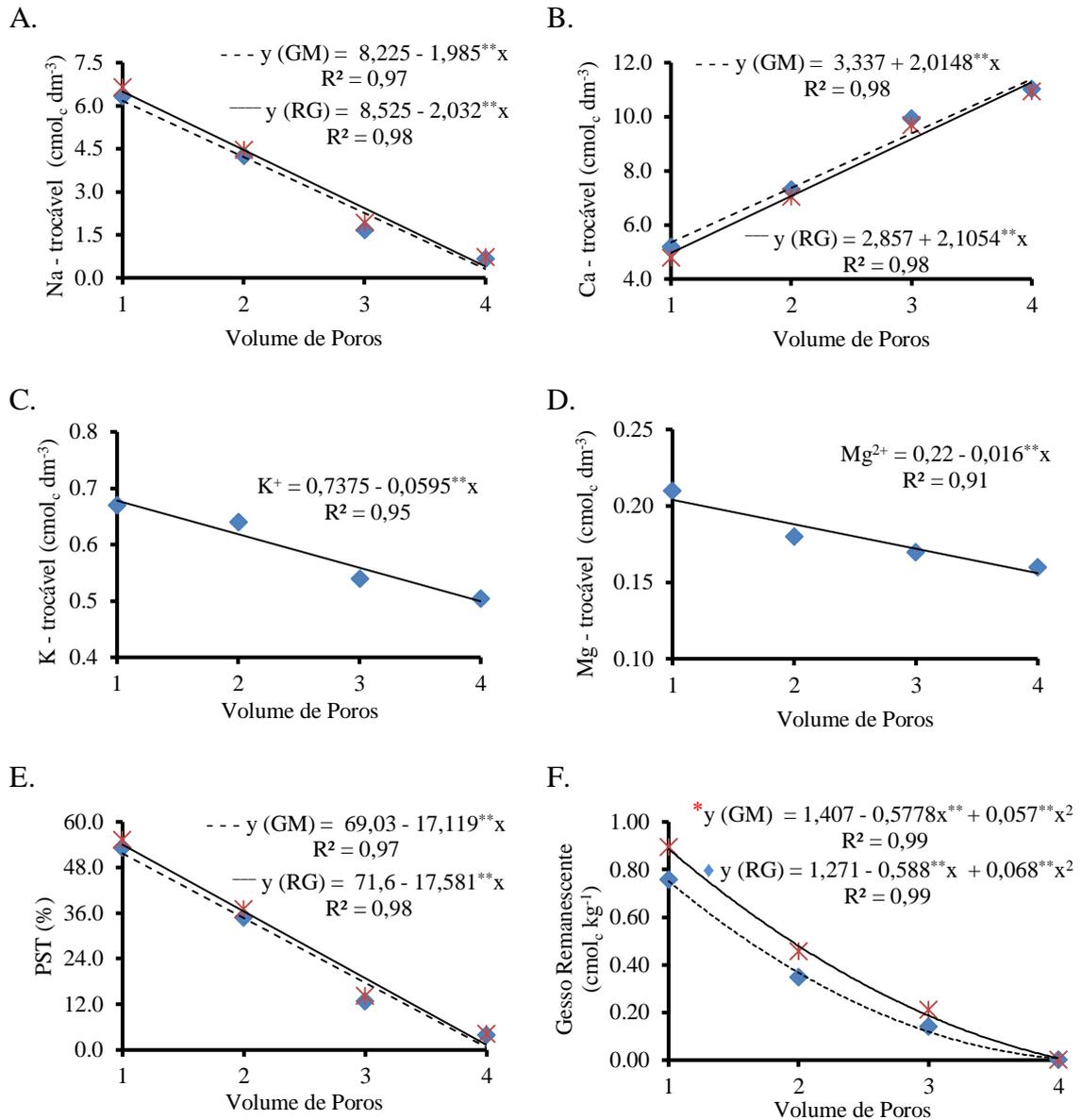
Em relação a PST, a redução a níveis próximos aos aceitáveis (RICHARDS, 1954) só foi obtida mediante aplicação da lâmina de 3 VP, sendo estimado valores de 17,6 e 18,8% nos solos tratados com GM e

RG, respectivamente, o que representa uma redução acumulada de 75,19%, em relação aos valores iniciais.

Estimou-se ainda, com base na equação de regressão (Figura 1E), decréscimo na PST por incremento unitário da lâmina de lixiviação à razão de 17,1% e 17,5% quando se aplicou GM e RG, respectivamente, sendo estimado para a lâmina máxima testada (4 VP), uma PST de 0,55 e 1,27%, respectivamente. Miranda et al. (2011) estudando a aplicação de condicionadores químicos e orgânicos em um Neossolo Flúvico salino-sódico proveniente de Custódia-PE, também verificaram reduções na PST sob aplicação de gesso, em ambos os casos, esta redução pode ser atribuída a redução do Na e ao aumento do Ca trocável proporcionada pelos tratamentos.

Em relação ao gesso residual, verificou-se tendência quadrática de decréscimo com o incremento das lâminas de lixiviação para os dois tipos de gesso utilizados e, embora tenha-se verificado que a aplicação de GM proporcionou menor quantidade de gesso residual ao longo das lâminas de lixiviação, em relação ao RG, sob a lâmina de 4 VP, os valores convergem para o mesmo ponto. Estes resultados podem estar relacionados ao grau de pureza dos materiais utilizados e, obviamente, a remoção dos respectivos resíduos com o aumento das lâminas de lixiviação.

**Figura 1.** Sódio, cálcio, potássio, magnésio e percentagem de sódio trocável obtido a partir do complexo de troca de um Neossolo Flúvico salino-sódico sob aplicação de gesso e lâminas de lixiviação.



Fonte: Cavalcanti et al. (2019).

A aplicação das lâminas de lixiviação influenciou significativamente ( $p < 0,01$ ) a  $CE_{es}$ ,  $pH_{es}$ ,  $Na^+$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $K^+$ ,  $Mg^{2+}$  e a RAS. Enquanto isto, a aplicação de gesso ocasionou efeito significativo

( $p < 0,05$ ) em todas as variáveis mencionadas, exceto a  $CE_{es}$  e o  $pH_{es}$ , assim como a interação entre os tratamentos que não influenciou apenas o comportamento da  $CE_{es}$  (Tabela 3).

**Tabela 3.** Resumo da ANOVA para a condutividade elétrica ( $CE_{es}$ ),  $pH_{es}$ , teores de sódio ( $Na^+$ ), cálcio ( $Ca^{2+}$ ), potássio ( $K^+$ ), magnésio ( $Mg^{2+}$ ) e relação de adsorção de sódio (RAS) obtido a partir do extrato de saturação do solo após aplicação de gesso e frações de lixiviação.

Fonte de variação	GL	Quadrado Médio						
		$CE_{es}$	$pH_{es}$	$Na^+$	$Ca^{2+}$	$K^+$	$Mg^{2+}$	RAS
Gesso (G)	1	0,0024 <sup>ns</sup>	0,0055 <sup>ns</sup>	5,67 <sup>**</sup>	5,8906 <sup>**</sup>	0,0518 <sup>**</sup>	0,1145 <sup>**</sup>	2,4651 <sup>**</sup>
Lâmina (L)	3	398,07 <sup>**</sup>	0,1653 <sup>**</sup>	25715,69 <sup>**</sup>	1571,82 <sup>**</sup>	0,571 <sup>**</sup>	11,8283 <sup>**</sup>	1118,25 <sup>**</sup>
G x L	3	0,0059 <sup>ns</sup>	0,0682 <sup>**</sup>	0,9351 <sup>**</sup>	0,4265 <sup>**</sup>	0,0036 <sup>**</sup>	0,0064 <sup>**</sup>	0,2967 <sup>**</sup>
Resíduo	32	0,0145	0,0191	0,062	0,0279	0,0008	0,0005	0,0063
CV (%)		1,7325	1,8343	0,5126	0,8467	6,4471	2,0716	0,6011

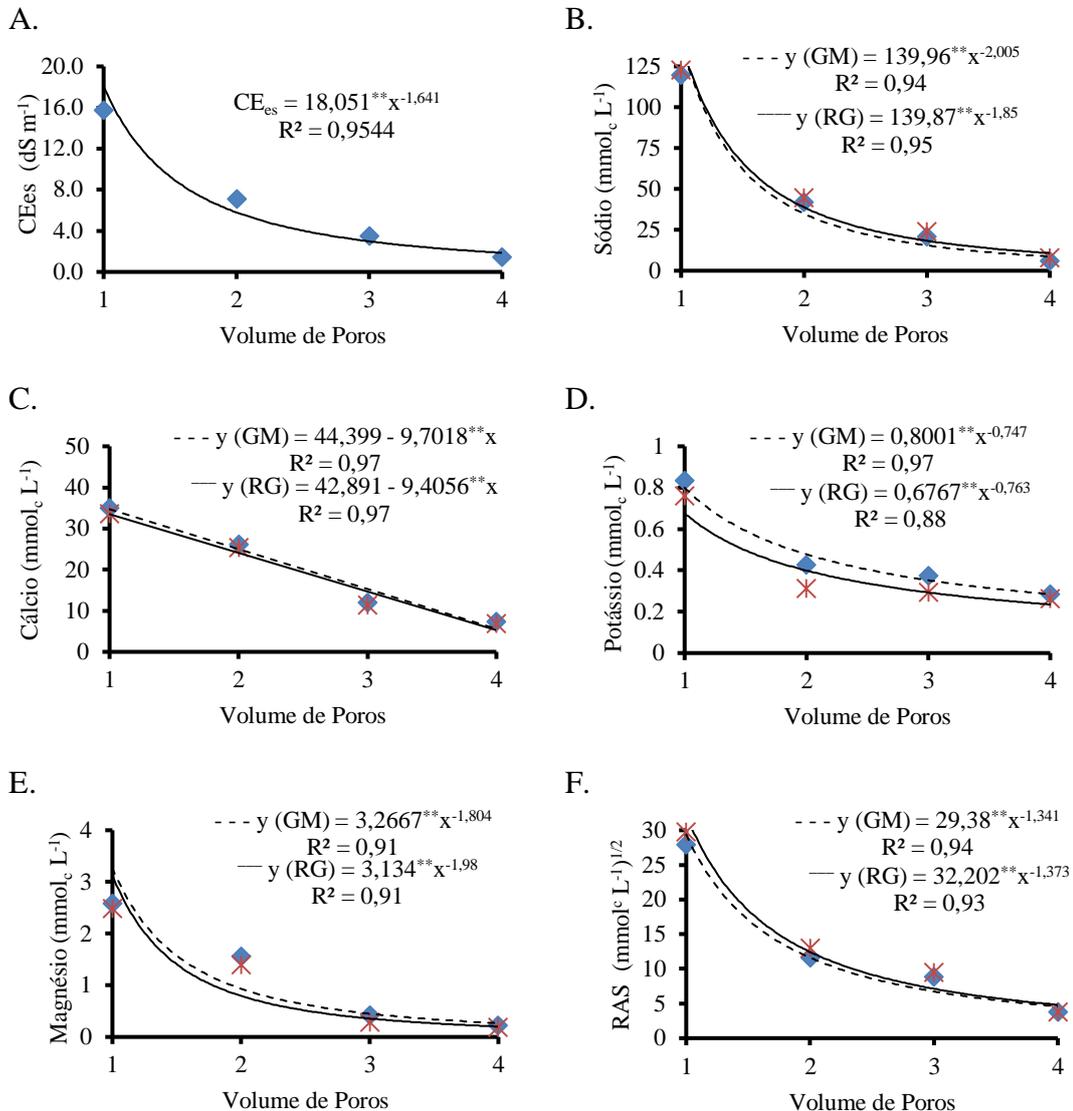
\*, \*\* significativo em 0,05 e 0,01 de probabilidade, respectivamente, e <sup>ns</sup> não significativo, pelo teste F. GL: Grau de liberdade e CV: coeficiente de variação. **Fonte:** Cavalcanti et al. (2019).

O  $pH_{es}$ , apesar de ter sido influenciado pelas lâminas e pela interação entre os tratamentos, não se ajustou a um modelo que permitisse uma caracterização plausível que viabilizasse a análise do seu comportamento.

O tipo de gesso utilizado não influenciou significativamente ( $p > 0,05$ ) a  $CE_{es}$ , no entanto, a lâmina de lixiviação de

4VP removeu 95,9% dos sais. Em linhas gerais, a  $CE_{es}$  estimada para as lâminas de lixiviação correspondentes a 1; 2; 3 e 4 VP, conforme equação de regressão (Figura 2A), foram da ordem de 18,05; 5,78; 2,97 e 1,85  $dS\ m^{-1}$ , respectivamente, e, neste caso, a aplicação da lâmina de 3VP foi suficiente, já que a  $CE_{es}$  final estimada foi inferior a 4  $dS\ m^{-1}$  (RICHARDS, 1954).

**Figura 2.** Condutividade elétrica, pH, sódio, cálcio, potássio, magnésio e razão de adsorção de sódio obtido a partir do extrato de saturação de um Neossolo Flúvico salino-sódico sob aplicação de gesso e lâminas de lixiviação.



Fonte: Cavalcanti et al. (2019).

Em experimento realizado em Gojra, Paquistão, visando a recuperação de um solo salino-sódico, Kahlon, Murtaza e Ghafoor (2012) concluíram, após aplicação dos tratamentos, que os valores mais baixos da CE<sub>es</sub> foram verificados nas amostras de solo que receberam gesso. De igual modo, Tao et al. (2014) também observaram que a aplicação do gesso diminuiu a CE<sub>es</sub> de 7,20 dS m<sup>-1</sup> para 4,22 dS m<sup>-1</sup> e 3,85 dS m<sup>-1</sup> nas

amostras que receberam 4.000 e 8.000 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> de gesso, respectivamente.

Em análise geral, e lastreado pelos trabalhos mencionados (KAHLON; MURTAZA; GHAFUOR, 2012; TAO et al., 2014), ficou evidente que o gesso ora utilizado, independente da origem ser mineral ou resíduo da construção civil, devolveu ao solo a capacidade de, mediante a aplicação da lâmina de água, lixiviar o excesso de sais presente no solo. Este

processo está diretamente associado a redução e incremento do sódio e do cálcio trocável, respectivamente, os quais já foram discutidos no presente trabalho.

O sódio solúvel foi reduzido em até 97,16% e 96,46%, quando aplicou-se GM ou RG, respectivamente. Os valores estimados com base na equação de regressão (Figura 2B) foram da ordem de 15,39 e 8,64 mmol<sub>c</sub> L<sup>-1</sup> sob 3VP e 4VP quando se aplicou GM e da ordem de 18,32 e 10,76 mmol<sub>c</sub> L<sup>-1</sup>, sob estas lâminas quando se aplicou RG, respectivamente. Trabalhando com um solo de textura franco-arenosa de Custódia-PE, com teor de sódio solúvel inicial de 148,52 mmol<sub>c</sub> L<sup>-1</sup>, Santos et al. (2014), utilizando aplicação de GM e RG, reduziram este cátion em até 95% utilizando lâmina de 2VP; obviamente que a quantidade inicial de sódio e a textura franco-arenosa do solo respaldam esta diferença.

A concentração de Ca<sup>2+</sup> no extrato de saturação do solo, sob aplicação de GM e RG, melhor ajustou-se ao modelo de regressão linear. Naturalmente, a oferta de Ca<sup>2+</sup> na solução do solo proporcionada pela incorporação do gesso, promoveu a floculação das partículas de argila, implicando no aumento da condutividade hidráulica (k<sub>o</sub>), viabilizando o processo de lixiviação. Este processo refletiu-se nos resultados obtidos, ou seja, a partir do valor inicial de 61,92 mmol<sub>c</sub> L<sup>-1</sup>, estimou-se (Figura 2C) uma redução no cálcio solúvel por incremento unitário da lâmina de lixiviação, de 9,70 e 9,40 mmol<sub>c</sub> L<sup>-1</sup> sob GM e RG, respectivamente. Em contrapartida, utilizando doses de gesso acima do recomendado em solos com granulometrias distintas, Tavares Filho et al. (2012) verificaram efeito inverso, isto é, mesmo aplicando-se 3VP, ocorreu o acúmulo de cálcio na solução do solo.

Quanto ao potássio solúvel, em relação aos tipos de gesso, verificou-se ajustes semelhantes, porém, com taxas de redução diferentes. Dentre os aspectos

relevantes para análise do comportamento do K<sup>+</sup>, menciona-se a baixa concentração inicial (1,02 mmol<sub>c</sub> L<sup>-1</sup>) e a valência deste cátion que, por ser monovalente, e apresentar ligações mais fracas com os colóides do solo é facilmente lixiviado. Em análise geral, sob GM estimou-se uma concentração de K<sup>+</sup> de 0,80; 0,47; 0,35 e 0,28 mmol<sub>c</sub> L<sup>-1</sup> e sob RG de 0,67; 0,39; 0,29 e 0,23 mmol<sub>c</sub> L<sup>-1</sup> para as lâminas de 1; 2; 3 e 4 VP, respectivamente (Figura 2D).

Antes da incorporação dos corretivos ao solo, o teor de Mg<sup>2+</sup> no extrato de saturação era de 7,63 mmol<sub>c</sub> L<sup>-1</sup> e foi reduzido para 0,222 mmol<sub>c</sub> L<sup>-1</sup> e 0,182 mmol<sub>c</sub> L<sup>-1</sup>, quando se utilizou o GM e o RG, respectivamente, e foi aplicada uma lâmina de lixiviação equivalente a 4 VP (Figura 2E). Resultados semelhantes foram obtidos em trabalho realizado por Santos et al. (2014), cujo efeito do gesso e a remoção dos sais pela lâmina de lixiviação, atuaram na floculação das partículas do solo possibilitando a lixiviação dos sais solúveis, dentre eles o íon Mg<sup>2+</sup>.

Quanto a razão de adsorção de sódio (RAS), seu valor prévio era de 51,7 (mmol L<sup>-1</sup>)<sup>1/2</sup>, após a incorporação do gesso (GM ou RG), estimou-se uma RAS de 6,73 e 7,12 (mmol L<sup>-1</sup>)<sup>1/2</sup> sob lâmina de 3 VP. Neste caso, e considerando-se o critério de classificação de solos afetados por sais estabelecido por McNeal (1976), citado por Pereira (1983), verificou-se que o solo do presente estudo, passou a ser classificado como não afetado por sal (CE < 4 dS m<sup>-1</sup>; RAS < 13 (mmol L<sup>-1</sup>)<sup>1/2</sup>; PST < 15%), devido à correção dos níveis excessivos de sais e sódio trocável.

## 6 CONCLUSÕES

1.O Neossolo Flúvico salino-sódico adquiriu características de solo não salino-sódico quanto tratado com gesso mineral ou resíduo de gesso da construção civil e sob

aplicação de uma lâmina de lixiviação equivalente a 3 VP;

2. O processo de recuperação do Neossolo Flúvico salino-sódico utilizando resíduo de gesso da construção civil como corretivo químico, apresentou resultados similares aos obtidos utilizando-se o gesso mineral, sendo recomendado a sua utilização na agricultura;

3. Verificou-se relação direta entre a tendência dos cátions trocáveis e a lâmina de lixiviação, independente da origem do gesso. Quanto aos solúveis, excetuando-se o  $\text{Ca}^{+2}$ , os cátions solúveis apresentaram resposta exponencial ao incremento das lâminas de lixiviação.

## 7 REFERÊNCIAS

BARBOSA, A. A.; FERRAZ, A. V.; SANTOS, G. A. Caracterização química, mecânica e morfológica do gesso  $\beta$  obtido do pólo do Araripe. **Revista Cerâmica**, São Paulo, v. 60, n. 356, p. 501-508, 2014.

BARROS, M. F. C.; MAGALHÃES, A. F. Avaliações de métodos de determinação da necessidade de gesso em solos salino-sódicos. **Revista Brasileira de Ciência Solo**, Campinas, v. 13, p. 119-123, 1989.

BRASIL. Resolução CONAMA n.º 307. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 17 jul. 2002.

BRASIL. Resolução CONAMA n.º 431 – Altera o art. 3o da Resolução n.º 307/ 2002 e estabelece nova classificação para o gesso. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 25 maio 2011.

BRASIL. Lei 12.305. Institui a política nacional de resíduos sólidos. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 2 ago. 2010.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análises de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPS, 1997.

FERREIRA, E. M.; CRUVINEL, K. A. S. Utilização do gesso de entulho na produção de cimento. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 10, n. 18, p. 3783-3793, 2014.

FIESP. Departamento da Indústria e Construção. **Brasil 2022: planejar, construir, crescer: ConstruBussines: 11º congresso brasileiro da construção**. 11. ed. São Paulo: DECONCIC, 2015. 110 p.

GONÇALVES, I. V. C.; FREIRE, M. B. G. S.; SANTOS, M. A.; SOUZA, E. R.; FREIRE, F. J. Alterações químicas de um Neossolo Flúvico irrigado com águas salinas. **Revista Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v. 42, p. 589-596, 2011.

GUEDES FILHO, D. H.; SANTOS, J. B.; GHEYI, H. R.; CAVALCANTE, L. F.; SANTOS JÚNIOR, J. A. Componentes de produção e rendimento do girassol sob irrigação com águas salinas e adubação nitrogenada. **Revista Irriga**, Botucatu, v. 20, n. 3, p. 514-527, 2015.

KAHLON, U. Z.; MURTAZA, G.; GHAFOOR, A. Amelioration of saline-sodic soil with amendments using brackish water, canal water and their combination. **International Journal of Agriculture & Biology**, Beijing, v. 14, n. 1, p. 38-46, 2012.

LEITE, E. M.; DINIZ, A. A.; CAVALCANTE, L. F.; GHEYI, H. R.; CAMPOS, V. B. Redução da sodicidade em solo irrigado com a utilização de ácido sulfúrico e gesso agrícola. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 23, n. 2, p. 110-116, 2010.

MIRANDA, M. A.; OLIVEIRA, E. M. O.; SANTOS, K. F.; FREIRE, M. B. G. S.; ALMEIDA, B. G. Condicionadores químicos e orgânicos na recuperação de solo salino-sódico em casa de vegetação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 15, n. 5, p. 484-490, 2011.

PAVI, S.; BORDIN, F.; MARCO, J. de; OLIVEIRA, L. S. P. de; FAGUNDES, M.; VERONEZ, M. R.; TOGNOLI, F. M. W.; TUTIKIAN, B. F. A comparative study in the execution of gypsum coating sunder a environmental impact perspective. **International Journal of Science**, Raipur, v. 2, n. 12, 2013.

PEREIRA, J. R. Solos salinos e sódicos. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO, 15., 1983, Campinas. **Anais...** Campinas: SBCS, 1983. p. 127-143.

PESSOA, L. G. M.; OLIVEIRA, E. M.; FREIRE, M. B. G. S.; FREIRE, F. J.; MIRANDA, M. A. SANTOS, R. L. Composição química e salinidade do lixiviado em dois solos cultivados com cebola irrigada com água salina. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 5, n. 3, p. 406-412, 2010.

RASOULI, F.; POUYA, A. K.; KARIMIAN, N. Wheat yield and physico-chemical properties of a sodic soil from semi-arid area of Iran as affected by applied gypsum. **Geoderma**, Amsterdam, v. 193-194, p. 246-255, 2013.

RICHARDS, L. A. **Diagnosis and improvement of saline and alkali soils**. Washington: U.S. Government Printing, 1954. Handbook 60.

SÁ, F. V. S.; ARAÚJO, J. L.; NOVAES, M. C. de; SILVA, A. P. da; PEREIRA, F. H. F.; LOPES, K. P. Crescimento inicial de arbóreas nativas em solo salino-sódico do nordeste brasileiro tratado com corretivos. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 60, n. 3, p. 388-396, 2013.

SÁ, F. V. S.; MESQUITA, E. F.; COSTA, J. D.; BERTINO, A. M. P.; ARAÚJO, J. L. Influência do gesso e biofertilizante nos atributos químicos de um solo salino-sódico e no crescimento inicial do girassol. **Revista Irriga**, Botucatu, v. 20, n. 1, p. 46-59, 2015.

SAHIN, U.; EROGLU, S.; SAHIN, F. Microbial application with gypsum increases the saturated hydraulic conductivity of saline-sodic soils. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v. 48, p. 247-250, 2011.

SANTOS, D. B.; COELHO, E. F.; SIMÕES, W. L.; SANTOS JÚNIOR, J. A.; COELHO FILHO, M. A.; BATISTA, R. O. Influência do balanço de sais sobre o crescimento inicial e aspectos fisiológicos de mamoeiro. **Magistra**, Cruz das Almas, v. 27, n. 1, p. 44-53, 2015.

SANTOS, P. M.; ROLIM, M. M.; DUARTE, A. S.; BARROS, M. F. C.; SILVA, E. F. F. Uso de resíduos de gesso como corretivo em solo salino-sódico. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 44, n. 1, p. 95-103, 2014.

SANTOS, R. D.; LEMOS, R. C.; SANTOS, H. G.; KER, J. C.; ANJOS, L. H. C. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 5. ed. ver. ampl. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2005. 100 p.

SILVA, N. M. L.; BARROS, M. F. C.; FONTENELE, A. J. P. B.; VASCONCELOS, R. R. A. de; FREITAS, B. L. Q. O.; SANTOS, P. M. Aplicação de níveis da necessidade de gesso e lâmina de lixiviação para correção da sodicidade e salinidade de solos salino-sódicos. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v. 8, n. 2, p. 147-153, 2014.

TAO, J.; WU, L.; LIU, X.; ZHANG, H.; XU, Y.; GU, W.; LI, Y. Effect of brackish ice on salt and nutrient contents of saline soil in flue-gas desulfurization gypsum amended, raised bed agroecosystem. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 78, n. 5, p. 1734-1740 2014.

TAVARES FILHO, A. N.; BARROS, M. F. C.; ROLIM, M. M.; SILVA, E. F. F. Incorporação de gesso para correção da salinidade e sodicidade de solos salino-sódicos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, n. 3, p. 247-252, 2012.