



## **CORRETIVOS QUÍMICOS E BIOCHAR PARA A RECUPERAÇÃO DE SOLO SALINO-SÓDICO**

Tayd Dayvison Custódio Peixoto<sup>1</sup>, Miguel Ferreira Neto<sup>2</sup>, Francisco Vanies da Silva Sá<sup>3</sup>, Clara Araújo da Silva<sup>4</sup>, Paula Katherine Leonez da Silva Valença<sup>5</sup>, Kariolania Fortunato de Paiva Araujo<sup>6</sup>

**RESUMO:** O excesso de sais no solo representa um risco para a agricultura no mundo, sobretudo em regiões áridas e semiáridas em que é primordial o uso da irrigação. Assim, objetivou-se avaliar técnicas de recuperação de solos salino-sódicos em conjunto, visando a remoção do excesso de sais do extrato de saturação da pasta. O solo foi coletado no Distrito Irrigado do Baixo-açu (DIBA). O experimento foi conduzido em casa de vegetação do Departamento de Ciências Agrônômicas e Florestais da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), em Mossoró, no ano de 2022. O delineamento foi inteiramente casualizado, com 9 tratamentos e 3 repetições, totalizando 27 unidades experimentais. Os tratamentos foram de acordo com a dose prática de necessidade de gesso (NG) e de enxofre elementar (EE) calculados para diminuir a PST (final) do solo para 5%, assim como a aplicação de Biochar de acordo com a quantidade da NG calculada (T1 - Solo sem corretivos, T2 - 100% da NG, T3 - 100% do EE, T4 - Biochar dose 1, T5 - Biochar dose 2, T6 - Biochar dose 1 + 50% da NG, T7 - Biochar dose 2 + 50% da NG, T8 - Biochar dose 1 + 50% do EE e T9 - Biochar dose 2 + 50% do EE). A lavagem com duas vezes o volume de poros corrigiu a salinidade do solo. O solo tratado com biochar na dose 1 (T4), antes da lavagem, diminuiu mais significativamente a salinidade e a sodicidade do extrato de saturação.

**PALAVRAS-CHAVE:** salinidade, remediação da salinização do solo, extrato de saturação.

<sup>1</sup> Bolsista de Pós-doutorado, Programa de Pós-Graduação em Manejo de Solo e Água, UFERSA, Mossoró, RN

<sup>2</sup> Prof. Doutor, Departamento de Ciências Agrônômicas e Florestais, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, UFERSA, Mossoró, RN

<sup>3</sup> Prof. Doutor, Departamento de Ciências Agrárias e Exatas, Universidade Estadual da Paraíba, UEPB, Catolé do Rocha, PB

<sup>4</sup> Graduanda em Agronomia, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, UFERSA, Mossoró, RN

<sup>5</sup> Professora, Doutoranda em Manejo de Solo e Água, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, UFERSA, Mossoró, RN

<sup>6</sup> Doutoranda em Manejo de Solo e Água, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, UFERSA, Mossoró, RN

## CHEMICAL CONDITIONERS AND BIOCHAR FOR RECOVERY OF SALINE-SODIC SOIL

**ABSTRACT:** The excess of salts in the soil represents a risk for agriculture in the world, especially in arid and semiarid regions where the use of irrigation is primordial. Thus, we evaluated joint techniques for the recovery of saline-sodic soils, aiming to remove excess salts from the saturation extract of the paste. The soil was collected in the Irrigated District of Baixo-Açu (DIBA). The experiment was conducted in a greenhouse of the Department of Agronomic and Forestry Sciences of the Federal Rural University of the Semi-Arid (UFERSA), in Mossoró, in 2022. The design was entirely randomized, with 9 treatments and 3 repetitions, totaling 27 experimental units. The treatments were according to the practical dose of gypsum (NG) and elemental sulfur (EE) needs calculated to decrease the (final) soil PST to 5%, as well as the application of biochar according to the amount of NG calculated (T1 - Soil without correctives, T2 - 100% of NG, T3 - 100% of EE, T4 - Biochar dose 1, T5 - Biochar dose 2, T6 - Biochar dose 1 + 50% of NG, T7 - Biochar dose 2 + 50% of NG, T8 - Biochar dose 1 + 50% of EE, and T9 - Biochar dose 2 + 50% of EE). Washing with twice the pore volume corrected soil salinity. The soil treated with biochar at dose 1 (T4), before washing, decreases most significantly the salinity and sodicity of the saturation extract.

**KEYWORDS:** salinity, remediation of soil salinization, saturation extract.

## INTRODUÇÃO

A salinização e a sodificação do solo estão entre os mais relevantes problemas enfrentados pela produção agrícola, segurança alimentar e sustentabilidade em regiões áridas e semiáridas do mundo (FAO, 2022).

O intemperismo mineral primário físico e químico libera cátions e ânions solúveis, dos quais os cátions mais comuns são  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  e  $\text{Na}^+$ , e os ânions mais comuns são  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$  e  $\text{SO}_4^{2-}$  (DALIAKOPOULOS et al., 2016; STAVI et al., 2021). A salinização provocada pelo ser humano, denominada salinização secundária, provém de atividades que adicionam sais ao solo. Além disso, a qualidade da água de irrigação pode intensificar o processo de salinização, mesmo a água sendo considerada de ótima qualidade e contendo baixas concentrações de sais, porém, se o manejo não levar em consideração a lixiviação dos sais, ao longo do tempo haverá o acúmulo no solo.

A irrigação é de fundamental importância para a produção agrícola mundial, pois possibilita o aumento da produtividade e a produção em períodos em que a agricultura de sequeiro não supri as necessidades hídricas das culturas, principalmente em regiões áridas e semiáridas, onde existe déficit hídrico anual e chuvas irregulares.

Nesse contexto, objetivou-se avaliar o desempenho de diferentes corretivos para solo na recuperação de um solo salino-sódico proveniente do Distrito Irrigado do Baixo-Açu, considerando o extrato de saturação da pasta.

## MATERIAL E MÉTODOS

O solo foi coletado no Distrito Irrigado do Baixo-açu (DIBA) localizado nos municípios de Alto do Rodrigues e Afonso Bezerra, no Rio Grande do Norte. A coleta foi no lote 01, camada de 0-20 cm, nas coordenadas geográficas 5°23'28" S e 36°48'29" W, altitude de 37 m. O perfil do solo é classificado como CAMBISSOLO HÁPLICO Carbonático solódico.

**Tabela 1.** Análise química da água de abastecimento e do extrato de saturação da pasta do solo do DIBA para o potencial hidrogeniônico (pH), condutividade elétrica do extrato de saturação (CE, dS m<sup>-1</sup>), potássio (K<sup>+</sup>, mmolc L<sup>-1</sup>), sódio (Na<sup>+</sup>, mmolc L<sup>-1</sup>), cálcio (Ca<sup>2+</sup>, mmolc L<sup>-1</sup>), magnésio (Mg<sup>2+</sup>, mmolc L<sup>-1</sup>) e razão de adsorção de sódio (RAS, (mmolc L<sup>-1</sup>)<sup>0,5</sup>) (RICHARDS, 1954).

Identificação	pH	CE	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	RAS
	H <sub>2</sub> O	dS m <sup>-1</sup>	mmolc L <sup>-1</sup>				(mmolc L <sup>-1</sup> ) <sup>0,5</sup>
Abastecimento	8,03	0,47	0,18	3,37	0,80	1,10	3,50
Extrato Saturado	7,40	30,12	1,61	121,50	111,00	61,50	13,10

O experimento foi conduzido em casa de vegetação do Departamento de Ciências Agrônomicas e Florestais da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), em Mossoró, Rio Grande do Norte, no período de 23 de setembro a 06 de novembro de 2022. O município está localizado na região semiárida do Nordeste do Brasil, nas coordenadas geográficas 5°11'31" S e 37°20'40" W, a uma altitude de 18 m. No interior da casa de vegetação, durante a condução do experimento, foram registradas as temperaturas médias máximas e mínimas de 44,5 e 24,3°C e, umidade relativa média de 53,6%, respectivamente.

O delineamento foi o inteiramente casualizado, com 9 tratamentos e 3 repetições, totalizando 27 unidades experimentais. Os tratamentos foram definidos utilizando-se os corretivos químicos de acordo com a dose prática de necessidade de gesso (NG) e de enxofre elementar (EE) calculados para diminuir a PST (final) do solo para 5%, assim como a aplicação de Biochar de acordo com a quantidade da NG calculada (T1 - Solo sem corretivos, T2 - 100%

da NG, T3 - 100% do EE, T4 - Biochar dose 1, T5 - Biochar dose 2, T6 - Biochar dose 1 + 50% da NG, T7 - Biochar dose 2 + 50% da NG, T8 - Biochar dose 1 + 50% do EE e T9 - Biochar dose 2 + 50% do EE).

Os corretivos utilizados foram o sulfato de cálcio (Gesso), enxofre elementar e o biochar feito de eucalipto que foi adquirido comercialmente. O cálculo da necessidade de gesso (NG) foi realizado de acordo com a equação proposta por Pizarro (1978), levando-se em consideração a dose teórica de gesso para recuperação do solo Eq.1.

$$Dt = \frac{[(PST_i - PST_f) \times CTC \times PEq \times h \times Ds]}{100} \quad (1)$$

Em que: Dt - Dose teórica do corretivo, kg ha<sup>-1</sup>; (PST<sub>i</sub> - PST<sub>f</sub>) - Diferença entre a porcentagem de sódio trocável inicial e final; CTC - Capacidade de troca catiônica, cmolc dm<sup>-3</sup>; PEq - Peso equivalente do elemento ou composto a ser usado como corretivo (Gesso = 86); h - Profundidade do solo a ser recuperado, cm; Ds - Densidade do solo, kg dm<sup>-3</sup>.

As doses dos corretivos foram calculadas considerando-se o aproveitamento total do cálcio adicionado e o corretivo com 100% de pureza. Por isso, a dose prática do corretivo pode ser estimada conforme a Eq. 2, considerando um coeficiente de eficiência de 1,25 para os corretivos químicos utilizados de baixa solubilidade, gesso e enxofre (PIZARRO, 1978).

$$Dp = Dt \times C \quad (2)$$

Em que: Dp - Dose prática, kg ha<sup>-1</sup>; Dt - Dose teórica do corretivo, kg ha<sup>-1</sup>; C - Coeficiente de eficiência do corretivo a ser utilizado.

Após o cálculo da dose prática da NG, chegou-se ao valor de 100% da NG sendo igual 14.230,50 kg ha<sup>-1</sup> de gesso a ser utilizado na correção do solo, sendo assim, considerando 19% para o enxofre elementar, a dose de 100% de enxofre elementar foi equivalente a 2.704,00 kg ha<sup>-1</sup>. Para comparação e avaliação do efeito do biocarvão no processo de recuperação do solo, utilizou-se a dose 1 do biocarvão o valor equivalente a 100% da NG, ou seja, 14.230,50 kg ha<sup>-1</sup>, enquanto para a dose 2 do biocarvão foi utilizado duas vezes o valor da dose 1, resultando em 28.461,00 kg ha<sup>-1</sup>.

O solo foi mantido a 70% da umidade da capacidade de campo por 45 dias, após a adição dos corretivos. Posteriormente, o solo foi lavado com água de abastecimento com o equivalente a duas vezes o volume de poros para a lixiviação do excesso de sais (SÁ et al., 2013), em seguida, procederam-se as análises a partir do extrato de saturação da pasta (RICHARDS, 1954).

Os dados foram submetidos à análise de variância, teste ‘F’. Para a comparação das médias aplicou-se o teste LSD, ao nível de 5% de significância, com auxílio do software estatístico SISVAR® (FERREIRA, 2019).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Todas as variáveis analisadas do extrato de saturação apresentaram efeito significativo ( $p < 0,01$ ), exceto o pH (Tabela 2). A Condutividade elétrica (CEes) diminuiu significativamente, em todos os tratamentos após a lavagem, quando comparada a CEes do solo ( $30,12 \text{ dS m}^{-1}$ ), destacando-se os tratamentos T2, T3, T4 e T5 os quais obtiveram as maiores reduções, com o T4 (Biochar na dose 1), apresentando o menor valor médio de  $2,06 \text{ dS m}^{-1}$  (Tabelas 1 e 2). O potássio também apresentou redução significativa em todos os tratamentos, com o T4 apresentando o menor valor médio de  $0,38 \text{ mmolc L}^{-1}$ .

**Tabela 2.** Teste F e teste de médias LSD para o potencial hidrogeniônico (pH), condutividade elétrica do extrato de saturação (CEes,  $\text{dS m}^{-1}$ ), potássio ( $\text{K}^+$ ,  $\text{mmolc L}^{-1}$ ), sódio ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{mmolc L}^{-1}$ ), cálcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{mmolc L}^{-1}$ ), magnésio ( $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{mmolc L}^{-1}$ ) e razão de adsorção de sódio (RAS,  $(\text{mmolc L}^{-1})/0,5$ ) do solo tratado com gesso, enxofre elementar e biochar, após a lavagem.

	Teste F (Pr>Fc)						
	pH	CEes	$\text{K}^+$	$\text{Na}^+$	$\text{Ca}^{2+}$	$\text{Mg}^{2+}$	RAS
	0,3152	0,0025	0,0000	0,0007	0,0001	0,0053	0,0050
Tratamentos	Média ± Erro padrão, n = 3 (p < 0,05)						
SSC	7,63 ± 0,08a	7,98 ± 0,36ab	0,86 ± 0,02b	34,13 ± 1,32ab	28,73 ± 2,00b	17,23 ± 1,22abc	7,12 ± 0,17a
100% NG	7,56 ± 0,02a	5,35 ± 1,02bcd	0,68 ± 0,04c	20,15 ± 3,35cd	29,77 ± 3,46b	15,30 ± 8,57bc	4,21 ± 0,44c
100% EE	7,59 ± 0,04a	4,72 ± 0,49bcd	0,63 ± 0,02c	17,27 ± 2,04cd	29,97 ± 1,35b	12,30 ± 0,15bc	3,84 ± 0,41c
BC1	7,68 ± 0,08a	2,06 ± 0,33d	0,38 ± 0,02d	11,36 ± 1,28d	6,70 ± 1,40c	6,80 ± 0,78c	4,36 ± 0,42c
BC2	7,70 ± 0,02a	4,33 ± 0,45cd	0,59 ± 0,05c	19,72 ± 1,04cd	13,73 ± 1,66c	7,53 ± 0,84c	6,07 ± 0,12ab
BC1+50% NG	7,64 ± 0,06a	6,64 ± 1,10abc	0,73 ± 0,04bc	23,33 ± 3,92bc	36,37 ± 3,57ab	19,13 ± 2,22ab	4,38 ± 0,53c
BC2+50% NG	7,61 ± 0,04a	7,61 ± 1,12abc	0,86 ± 0,02b	27,93 ± 2,67abc	39,73 ± 3,41ab	19,90 ± 2,34ab	5,11 ± 0,25bc
BC1+50% EE	7,56 ± 0,02a	9,64 ± 0,76a	1,05 ± 0,03a	38,44 ± 2,38a	48,63 ± 2,80a	27,27 ± 1,91a	6,25 ± 0,39ab
BC2+50% EE	7,55 ± 0,02a	9,32 ± 2,60a	1,03 ± 0,11a	39,74 ± 9,74a	48,93 ± 12,08a	28,10 ± 5,67a	6,30 ± 0,90ab

SSC - Solo Sem Corretivos (T1); 100% NG - 100% da Necessidade de Gesso (T2); 100% EE - 100% do Enxofre Elementar (T3); BC1 - Biochar dose 1 (T4); BC2 - Biochar dose 2 (T5); BC1 + 50% NG (T6); BC2 + 50 NG (T7); BC1 + 50% EE (T8); e BC2 + 50% EE (T9). Médias seguidas de letras iguais na coluna não diferem significativamente pelo teste LSD ( $p < 0,05$ ).

Na recuperação de solos salino-sódicos ou sódicos, utilizam-se corretivos para auxiliar as reações no solo. Geralmente, condicionadores de solo que possuem o íon  $\text{Ca}^{2+}$  são empregados.

Os íons de cálcio devem remover uma porção considerável do sódio trocável do complexo de troca catiônica do solo (ALCÍVAR et al., 2018).

Para o sódio, em comparação com o solo do DIBA, as diminuições em todos os tratamentos variaram de 67,3% a 90,6%, destacando-se o tratamento T4 com o biochar na dose 1, que apresentou valor médio de 11,36 mmolc L<sup>-1</sup> (Tabelas 1 e 2).

A aplicação de Biochar na recuperação de solos salino-sódicos melhora diversas propriedades como a estrutura do solo, aumenta a porosidade, contribui com a adição de cátions bivalentes (Ca<sup>2+</sup> e Mg<sup>2+</sup>), que facilitam a substituição pelo sódio do complexo de troca do solo, aumenta a condutividade hidráulica do solo, assim como, após a lavagem do solo, reduz mais a salinidade e a sodicidade do que apenas a aplicação de gesso como corretivo (CHAGANTI et al., 2015).

O cálcio diminuiu significativamente em todos os tratamentos, no entanto, o tratamento 4 resultou em uma maior diminuição, cerca de 96,1% com valor médio obtido no extrato de saturação da pasta de 6,70 mmolc L<sup>-1</sup>. Em relação ao solo do DIBA, a concentração de magnésio diminuiu consideravelmente. Essa diminuição variou de 54,3% a 88,9%, com maior diminuição alcançada quando o solo foi corrigido com o biochar na dose 1. No entanto, estatisticamente, o biochar na dose 2 (T5) também apresentou maiores valores de diminuição do cátion magnésio. A razão de adsorção de sódio (RAS) apresentou diminuição significativa após aplicação dos tratamentos e lixiviação do excesso de sais, com os tratamentos T2, T3, T4 e T6 obtendo os maiores valores de diminuição da RAS, diminuindo em média 68,0% em comparação com o solo do DIBA (Tabelas 1 e 2).

Esses resultados apontam para uma efetiva redução dos sais solúveis contidos no extrato de saturação da pasta após a lavagem do solo e tratamentos empregados. No entanto, estudos posteriores do complexo sortivo são necessários, a fim de constatar se realmente os sais foram lixiviados do solo após a lavagem e tratamentos com corretivos.

## CONCLUSÕES

A Condutividade elétrica do extrato de saturação diminuiu significativamente, em todos os tratamentos após a lixiviação dos sais, quando comparada à inicial do solo. O solo tratado com biochar na dose 1 (T4), antes da lavagem, diminuiu mais significativamente a salinidade e a sodicidade do extrato de saturação.

## AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq, pelo apoio financeiro ao projeto de pesquisa e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES, pela concessão de Bolsas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALCÍVAR, M.; ZURITA-SILVA, A.; SANDOVAL, M.; MUÑOZ, C.; SCHOEBITZ, M. Reclamation of saline-sodic soils with combined amendments: impact on quinoa performance and biological soil quality. **Sustainability**, v. 10, n. 3083, 2018.
- CHAGANTI, V. N.; CROHN, D. M.; SIMUNEK, J. Leaching and reclamation of a biochar and compost amended saline-sodic soil with moderate SAR reclaimed water. **Agricultural Water Management**, v.158, p. 255-265, 2015.
- DALIAKOPOULOS, I. N.; TSANIS, I. K.; KOUTROULIS, A.; KOURGIALAS, N. N.; VAROUCHAKIS, A. E.; KARATZAS, G. P.; RITSEMA, C. J. The threat of soil salinity: A European scale review. **Science of the Total Environment**, v. 573, p. 727-739, 2016.
- FAO. 2022. **The State of the World's Land and Water Resources for Food and Agriculture – Systems at breaking point**. Main report. Rome.
- FERREIRA, D. F. Sisvar: A computer analysis system to fixed effects split plot type designs. **Revista Brasileira de Biometria**, v. 37, p. 529-535, 2019.
- PIZARRO, F. **Drenagem agrícola y recuperacion de solos salinos**. Madrid: Editora Agricola Española, 1978. 521p.
- RICHARDS, L. A. (Ed.) (1954). **Diagnosis and improvement of saline and alkali soils**. (Handbook, 60). USDA: Washington DC, USA, 1954. 160p.
- SÁ, F. V. S.; ARAÚJO, J. L.; NOVAES, M. C.; SILVA, A. P.; PEREIRA, F. H. F.; LOPES, K. P. Crescimento inicial de arbóreas nativas em solo salino-sódico do nordeste brasileiro tratado com corretivos. **Revista Ceres**, v. 60, p. 388-396, 2013.
- STAVI, I.; THEVS, N.; PRIORI, S. Soil salinity and sodicity in drylands: a review of causes, effects, monitoring, and restoration measures. *Front. in Envir. Science*, v. 9, n. 712831, 2021.