

Gesso agrícola na recuperação de solos salinizados no semiárido brasileiro

Agricultural gypsum in the recovery of salinized soils in the brazilian semiarid region

Rosilvam Ramos de Sousa^{1*}  ; Cleyton dos Santos Souza²  ; Maria Daiza de Sousa Alves³ 
 Carlos Luiz da Silva⁴  Sara Sebastiana Nogueira⁵  Duberli Elera Gonzales⁶ 

¹Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, CSTR – Centro de Saúde e Tecnologia Rural, Avenida Universitária, s/n, 58.708-110, Patos, Paraíba, Brasil.; ^{2, 3, 4, 5}Universidade Federal Rural de Pernambuco - UFRPE, DCFL - Departamento de Ciências Florestais, Rua Manoel de Medeiros, 870, 52171-900, Recife, Pernambuco, Brasil; ⁶Universidad Nacional Autónoma de Chota – UNACH, Escuela Profesional de Ingeniería Forestal y Ambiental, José Osores, 418, 06121, Chota, Cajamarca, Perú. *autor correspondente: rosilvam17@gmail.com

Recebido: 07/07/2024

Aceito: 06/12/2024

Publicado: 26/12/2024

Resumo:

A exploração dos recursos naturais tem causado diversos problemas, incluindo a formação de solos salinos. Para continuar utilizando esses solos, técnicas de correção são necessárias. Uma abordagem promissora é a aplicação de gesso agrícola ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), que atua como fonte de cálcio (Ca^{2+}) na recuperação de solos degradados por sais. Assim, esse trabalho objetivou avaliar a eficiência do gesso na recuperação do solo degradado, por sais, de uma área semiárida e determinar o número de lavagens necessárias para a lixiviação dos sais. O solo foi coletado no município de Sumé e analisado no Laboratório de Solos do Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido (CDSA). Utilizou-se o Delineamento Inteiramente Casualizado (DIC), com cinco aplicações de gesso (0, 2,5, 5, 7,5 e 10 g). Após isso, o solo foi hidratado até a capacidade de campo (CC). Duas lavagens foram realizadas para lixiviar os sais: a primeira com 637 mL ($3,5 \times \text{CC}$) e a segunda com 273 mL de água destilada ($1,5 \times \text{CC}$). A adição de gesso favoreceu a lixiviação dos sais, com concentrações de Na^+ 4,8 vezes maiores na primeira lavagem em comparação com a segunda. A correlação mostrou que o gesso teve uma interação negativa com a lixiviação dos íons de Na^+ na segunda lavagem, indicando que a maioria desses íons foram lixiviados na primeira lavagem. Portanto, conclui-se que o gesso é recomendado para o tratamento de solos salinizados. Os valores de Na^+ lixiviado não justificam uma segunda lavagem, além da possibilidade de perda de outros sais, como K^+ .

Palavras-chave: Área degradada, Sódio (Na^+), Lixiviação dos sais, Caatinga

Abstract:

The exploitation of natural resources has led to various problems, including the formation of saline soils. To continue utilizing these soils, correction techniques are necessary. A promising approach is the application of agricultural gypsum ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), which serves as a source of calcium (Ca^{2+}) for the recovery of salt-degraded soils. This study aimed to evaluate the efficiency of gypsum in recovering salt-degraded soil in a semi-arid area and determine the number of leachings required for salt removal. The soil was collected in the municipality of Sumé and analyzed at the Soil Laboratory of the Center for Sustainable Development of the Semi-Arid (CDSA). A Completely Randomized Design (CRD) was used, with five gypsum application rates (0, 2.5, 5, 7.5, and 10 g). After the gypsum application, the soil was moistened to field capacity (FC). Two leaching processes were carried out to remove salts: the first with 637 mL ($3.5 \times \text{FC}$) and the second with 273 mL of distilled water ($1.5 \times \text{FC}$). The addition of gypsum enhanced salt leaching, with Na^+ concentrations 4.8 times higher in the first leaching compared to the second. The correlation analysis showed a negative interaction between gypsum and Na^+ leaching in the second leaching, indicating that most of these ions were removed during the first leaching. Therefore, it is concluded that gypsum is recommended for the treatment of saline soils. The Na^+ leaching values do not justify a second leaching, as it may lead to the loss of other salts, such as K^+ .

Keywords: Recovery of Degraded Areas, Sodium (Na^+), Leaching of Salts, Caatinga

1. Introdução

A exploração demasiada dos recursos naturais vem acarretando diversos problemas, dentre eles tem-se a salinização dos solos, que possuem uma quantidade elevada de sais minerais acumulados, resultando em malefícios para o desenvolvimento de espécies vegetais e degradação do próprio solo (Santos *et al.*, 2020). Esse impasse atinge não só o meio ambiente, mas também afeta significativamente a economia, por ocasionar prejuízos a produção agrícola e a sociedade em geral (Coutinho *et al.*, 2015).

Dentre as ações que provocam a salinização do solo está a irrigação inadequada, como também, e principalmente, a ausência de sistema de drenagem de solos, podem ser fatores que contribuem para a salinização dos solos uma vez que o excesso de água em áreas de alta temperatura culminam em um rápido processo de evaporação, ocasionando o acúmulo de sais no solo, resultando em sua salinização (Brasil *et al.*, 2020). Deste modo, características climáticas específicas e o domínio fitogeográfico no qual está inserido contribuem diretamente neste aspecto (Santos, 2022).

No Brasil, a maior parte das pesquisas sobre degradação do solo e desertificação está focada na região nordeste do país, sendo esta predominantemente caracterizada pela presença do ambiente semiárido, e é a principal região que sofre pelo processo de salinização do solo no país, além de possuir baixos teores de carbono orgânico do solo, escassez de água, alta variabilidade sazonal e interanual de precipitação, que acaba culminando em períodos de secas periódicas (Vieira *et al.*, 2021; Schulz *et al.*, 2016).

Essa região encontra-se coberta de forma majoritária pelo domínio fitogeográfico Caatinga, classificada como Florestas Tropicais Sazonalmente Secas (FTSS) (Costa Júnior *et al.*, 2022; Oliveira *et al.*, 2019). Ocupa uma extensão de aproximadamente 970 mil km^2 , concentrada na região Nordeste do Brasil com exceção do estado do Maranhão e norte do estado de Minas, correspondendo a 12% do território nacional, dentre esses estados está a Bahia, Ceará, Paraíba, Pernambuco, Piauí e Rio Grande do Norte que detêm a maior parte desse território (Althoff *et al.*, 2016).

Desta forma, frequentemente nestas áreas há necessidade de realização de correção da salinidade do solo, para tanto, tem se buscado técnicas a fim de solucionar este problema por meio de

diferentes estratégias, em sua maioria pautada na importação de modelos, tecnologias e/ou insumos que se mostraram inadequados para atender estas necessidades (Pegado *et al.*, 2006). Isso ocorre porque os corretivos possuem baixa solubilidade, sendo sua reação ligada à umidade do solo e o seu contato com o mesmo. Esse tipo de material de correção possui fatores que estão ligados diretamente ao grau de ação no solo, logo, quanto mais moídos e misturados são os corretivos, maior será sua efetividade em contato com o solo, apresentando uma ação mais rápida de resultado.

Contudo, a aplicação sulfato de cálcio dihidratado, insumo conhecido como gesso agrícola ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), é tida como uma técnica promissora por ser amplamente empregado na recuperação de solos salinos, funcionando como uma valiosa fonte de cálcio (Ca^{2+}). Estudo realizado por Liao *et al.* (2019), destaca a eficácia do uso de gesso agrícola como uma estratégia valiosa na gestão de solos com problemas de salinidade. A presença do íon de Ca^{2+} no solo desencadeia a substituição dos íons sódio (Na^+) trocáveis. Esse sódio é posteriormente removido por lixiviação, principalmente na forma de sulfato de sódio, através da água de drenagem.

Os altos teores de sódio nesses solos resultam na dispersão das partículas de argila, comprometendo características essenciais como a porosidade, a estrutura do solo e a condutividade hidráulica. O gesso, com sua capacidade de promover a floculação da argila, reduz esses efeitos negativos, melhorando a permeabilidade do solo e restabelecendo condições físicas mais favoráveis para o desenvolvimento das plantas e o manejo sustentável do solo (Brasil *et al.*, 2020).

Diante disto, esse trabalho teve como objetivo avaliar a eficiência do gesso agrícola ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) como uma técnica de recuperação de solos degradados por sais, bem como determinar o número de lavagens necessárias para a lixiviação dos sais.

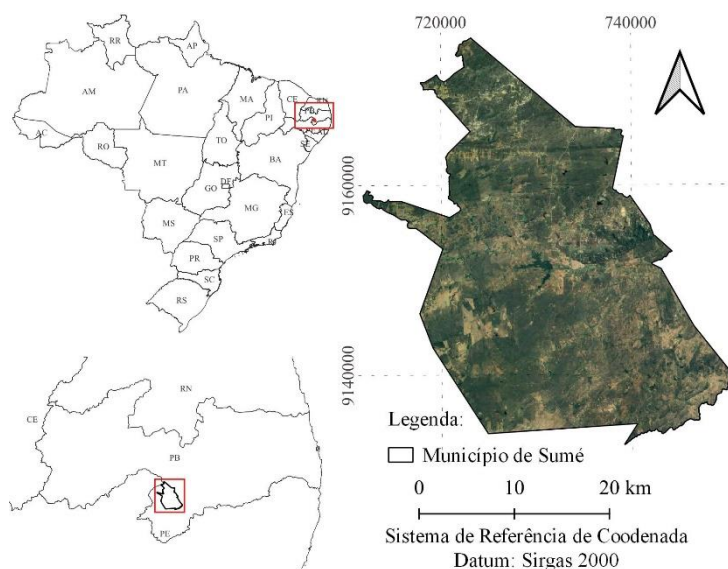
2. Material e Métodos

Localização e caracterização da área de coleta

O solo foi coletado no município de Sumé (Figura 1), que está situado a 518 m de altitude, com Latitude $7^\circ 40' 18''$ Sul e Longitude $36^\circ 52' 54''$ Oeste na microrregião do Cariri Ocidental, no estado Paraíba (Sumé, 2022). A região é caracterizada pelo clima BSh (semiárido quente), de acordo com classificação de Köppen e Geiger (Alvares *et al.*, 2013), com precipitação média anual de 584,9 mm, concentradas nos meses de janeiro a julho, com maior frequência entre os meses de março e abril, temperaturas médias anuais acima de 25°C e evaporação maior que 2.000 mm (AESAs, 2024).

Figura 1. Localização do município de Sumé, no estado da Paraíba

Figure 1. Location of the municipality of Sumé, in the state of Paraíba



A coleta do solo foi realizada na camada de 0 a 20 cm no Perímetro Irrigado de Sumé (PIS), implantado pelo DNOCS (Departamento Nacional de Obras Contra as Secas) em 1976, (Tsuyuguchi *et al.*, 2020).

Análise química do solo

Após a coleta do material, foi realizada a análise química do solo (Tabela 1) no Laboratório de Solos do Campus de Sumé no Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido (CDSA) da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), para isso, foi utilizado 0,5 kg de Terra Fina Seca ao Ar (TFSA) e destorroado para a determinação da Capacidade de Campo (CC).

Tabela 1. Análise química e física do solo do Perímetro Irrigado de Sumé - PB
Table 1. Chemical and physical analysis of the soil in the Irrigated Perimeter of Sumé - PB

AM	Análise química									
	pH	CE	P	Ca	Mg	K	Na	H+Al	CTC	V
Lote	CaCl ₂ 0,01M	dS m ⁻¹	mg dm ⁻³	----- cmol _c dm ⁻³ -----						%
15	6,5	1,46	321,2	13,0	5,0	0,17	11,96	1,2	32,0	96,3
AM	Análise física									
	Areia	Silte	Argila	Classificação textural				CC		
Lote	-----g kg ⁻¹ -----									%
15	796,1	70,6	133,3	Franco arenoso				36,4		

Fonte: Autores (2024).

Delineamento experimental

O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado (DIC), em um esquema fatorial 5 x 2. O primeiro fator compreendeu cinco doses de gesso agrícola, estabelecidas com base na Necessidade de Gesso (NG) do solo, sendo estas: 0,0 g vaso⁻¹ [T1: 0% da NG, utilizado como controle]; 2,5 g vaso⁻¹ (T2: 50% da NG); 5,0 g vaso⁻¹ (T3: 100% da NG); 7,5 g vaso⁻¹ (T4: 150% da NG); e 10,0 g vaso⁻¹ (T5: 200% da NG). O segundo fator consistiu em duas condições de lavagem do solo: a primeira aplicação utilizou uma lâmina de água correspondente a 3,5 vezes a capacidade de campo (CC), equivalente a 637 mL, enquanto a segunda aplicação consistiu em uma lâmina de água equivalente a 1,5 vezes a CC, totalizando 273 mL de água destilada.

Para estimativa da necessidade de gesso (NG) foi utilizada a Equação 1 (Vitti *et al.*, 2008):

$$NG = \frac{(V2 - V1) * CTC}{50} \tag{1}$$

em que: NG = necessidade de gesso (t ha⁻¹);
V2 = saturação por bases desejada (%);
V1 = saturação por bases do solo (%), revelada pela análise química do solo; e
CTC = capacidade de troca catiônica (cmol_c dm⁻³).

Após a aplicação das doses de gesso agrícola de acordo com os respectivos tratamentos, 0,5 kg do solo foi hidratado, utilizando a metodologia de Claessen *et al.* (1997), até atingir a CC. Posteriormente, foram realizadas duas lavagens para induzir a lixiviação dos sais contidos no solo. Na primeira, foi aplicado uma lâmina de água 3,5 vezes superior à CC (637 mL de água destilada), sendo coletada toda a solução percolada. Após 24 horas foi realizada a segunda lavagem, em que foi adicionado 273 mL de água destilada ao solo, equivalente a 1,5 vezes à CC (Figura 2).

Figura 2. Lavagem do solo do PIS, com diferentes doses de gesso agrícola
Figure 2. Washing of IPS soil, with different doses of agricultural gypsum



Análises dos dados

Foram realizadas análises das soluções diluídas coletadas após cada lavagem do solo para a determinação do Sódio (Na^+), Totais de Sais Dissolvidos (TSD) e Condutividade Elétrica (CE). Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e quando significativos, foi realizada a análise de regressão polinomial quadrática e o teste de Tukey a 5% significância, utilizando o Software R (R Core Team, 2022).

3. Resultados e discussão

A capacidade de retenção de água do solo não apresentou alteração significativa em resposta aos fatores estudados. Por outro lado, os teores de sódio, os sais dissolvidos totais e a condutividade elétrica foram significativamente impactados pela aplicação de gesso e pelas lavagens do solo (Tabela 2). Observou-se também que a maior quantidade de água na primeira lavagem apresentou concentrações de Na^+ lixiviado, aproximadamente, 4,8 vezes superior ao da segunda lavagem. Além disso, os valores de TSD e CE da primeira lavagem excederam em um fator de 2,4 os obtidos na segunda lavagem (Tabela 3).

Tabela 2. Análise de variância dos teores de sódio (Na^+), totais de sais dissolvidos (TSD) e condutividade elétrica (CE) na solução eluída do solo

Table 2. Analysis of variance of sodium content (Na^+), total dissolved salts (TDS) and electrical conductivity (EC) in the solution eluted from the soil

Fator de Variação	GL	QM – Na^+	QM – TSD	QM – CE
Tratamento	9	8,532**	6,765**	16,520**
Lav	1	56,184**	26,848**	65,518**
NG	4	0,173*	3,191**	7,805**
Lav x NG	4	4,978**	5,318**	12,987**
Resíduo	20	0,051	0,035	0,017
Total	29			

**Significativo Teste F ($p < 0,01$).

Tabela 3. Capacidade de campo (CC), teores de sódio (Na⁺), totais de sais dissolvidos (TSD) e condutividade elétrica (CE) na solução eluída do solo nas duas lavagens

Table 3. Field capacity (FC), sodium content (Na⁺), total dissolved salts (TDS) and electrical conductivity (EC) in the solution eluted from the soil in the two washes

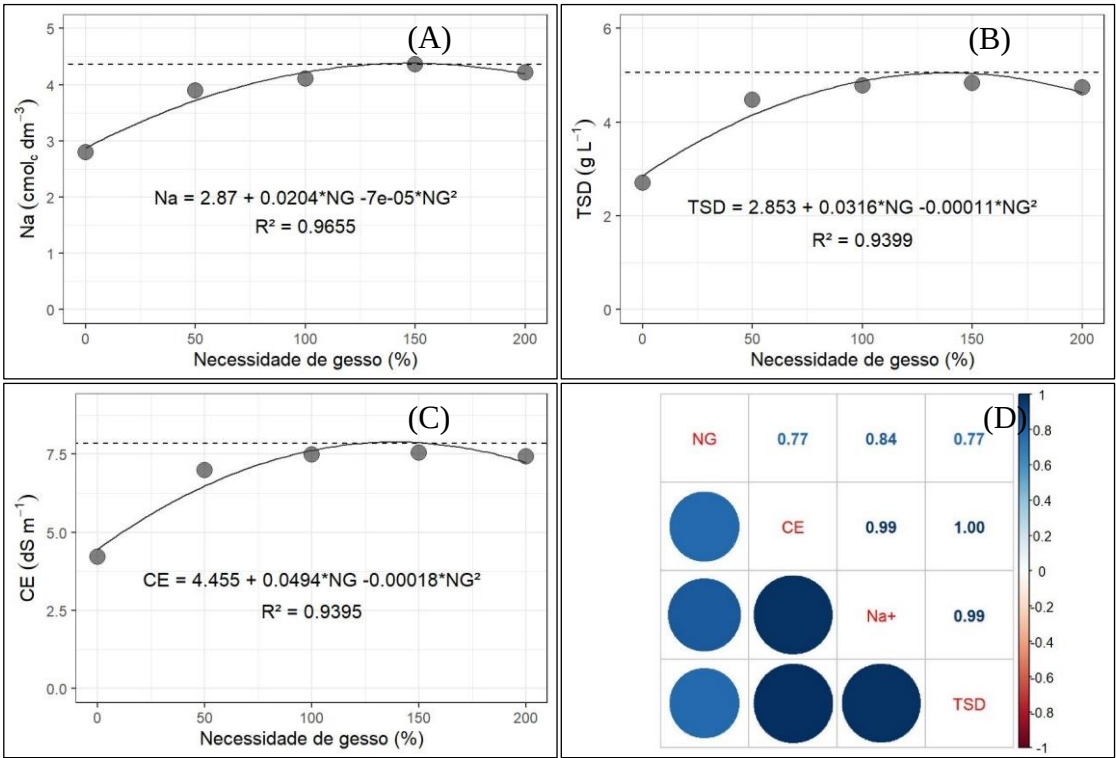
Lavagens	CC	Na ⁺	TSD	CE
	%	cmol _c dm ⁻³	mg L ⁻¹	dS m ⁻¹
1ª lavagem = (3,5 x CC)	38,16 ^{ns}	3,87a	4,31a	6,73a
2ª lavagem = (1,5 x CC)	37,92 ^{ns}	0,80b	1,80b	2,81b
CV (%)	0,52	5,21	3,16	3,16

^{ns} = não significativo. Médias seguidas de letra iguais, nas colunas, não diferem estatisticamente entre si (Tukey $p=0,01$).
Fonte: Autores (2024).

A presença do gesso agrícola resultou em aumento na lixiviação de íons de sódio na primeira lavagem (3,5 x CC). Todos os tratamentos que incluíram a aplicação de gesso agrícola apresentaram resultados significativamente superior à testemunha (0% da NG), no entanto, não houve diferença entre as doses de gesso agrícola. A dose ótima de gesso agrícola, para obter a máxima lixiviação de Na⁺, foi estimada em 146% da NG, o que equivale a aplicação de 7,3 g de gesso agrícola (Figura 3A).

Figura 3. Teores de sódio - Na⁺ (A), totais de sais dissolvidos - TSD (B), condutividade elétrica-CE (C) e interação (D) na solução eluída dos solos na primeira lavagem (3,5 x CC)

Figure 3. Sodium-Na⁺ content, total dissolved salts-TDS (B), electrical conductivity-EC (C) and interaction (D) in the solution eluted from the soils in the first wash (3.5 x CC)



Segundo Tavares Filho *et al.* (2012), técnicas como a lixiviação e a drenagem são fundamentais para recuperar solos degradados por sais, bem como, o uso de corretivos químicos pode potencializar esses efeitos. Essas técnicas atuam diminuindo a salinidade do solo por meio da solubilização e lixiviação dos sais. Paralelamente, os corretivos atuam na redução da sodicidade através de reações químicas com fontes minerais (Araujo *et al.* 2015).

Os resultados obtidos indicaram que a utilização de gesso agrícola foi eficaz na complexação dos íons de sódio presentes no solo. O que corrobora os resultados encontrados por Sousa *et al.* (2024). Conforme descrito por Ferreira *et al.* (2016), essa eficácia pode ser atribuída a adição de gesso agrícola, que resultou em aumento na concentração de sais neutralizados, os quais desempenham papel crucial na inibição da hidrólise do sódio.

Após a primeira lavagem, os TSD exibiram uma variação significativa com a aplicação do gesso agrícola. Os tratamentos 3 e 4, que correspondem a 100% e 150% da NG, registraram os maiores valores de sais dissolvidos, demonstrando maior eficiência. Ademais, notou-se tendência de queda nos valores a partir da dose de 7,9 g vaso⁻¹ de gesso agrícola, com a aplicação de níveis mais elevados de gesso agrícola (Figura 3B).

Quanto à condutividade elétrica, houve uma diferença significativa com aplicação gesso agrícola, em que os tratamentos 3 e 4 novamente, apresentaram os melhores resultados, em comparação com os demais, correlacionando-se diretamente com as maiores concentrações de sais dissolvidos (Figura 3D). Esses valores tendem a diminuir a partir da dosagem 6,2 g vaso⁻¹ de gesso agrícola, ou 123,5% da NG (Figura 3C).

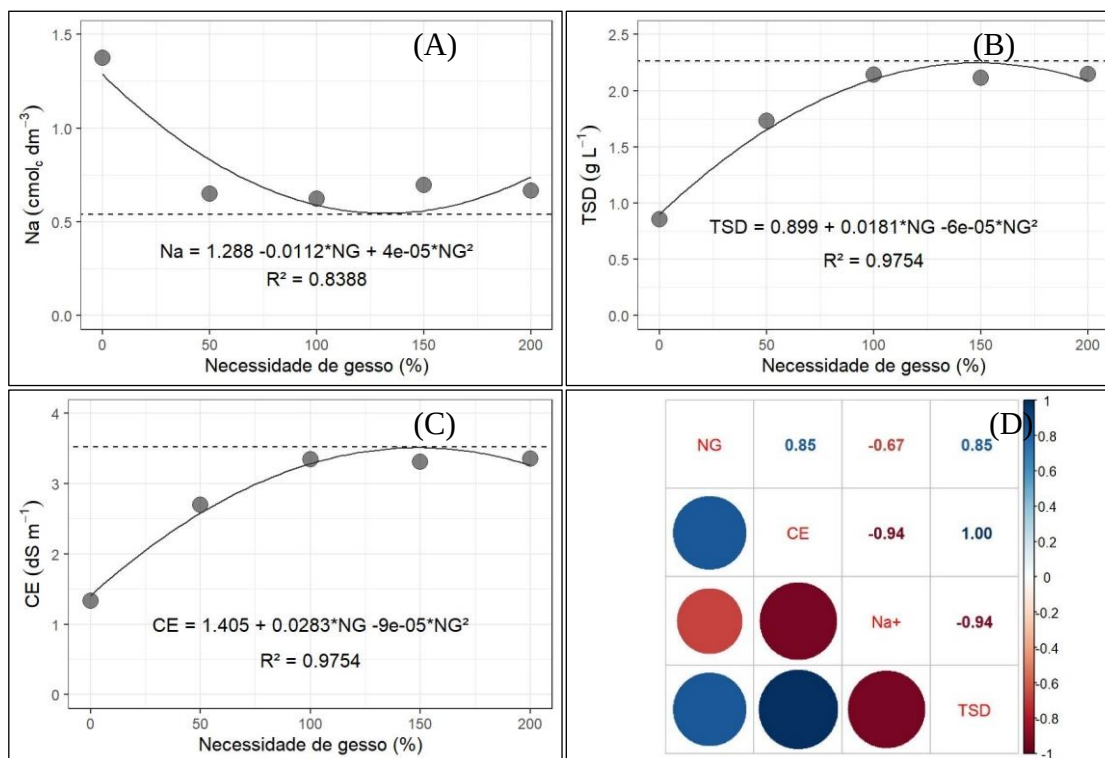
Na Figura 3D pode-se observar que a alta correlação entre a lixiviação do sódio e do TSD e a aplicação do gesso agrícola. Na primeira lavagem, verifica-se claramente o efeito positivo deste mineral na remoção de sais solúveis do solo. A elevação dos TSD e da CE na solução, indica que o gesso agrícola está efetivamente promovendo a lixiviação dos sais presentes no solo (Santos *et al.*, 2019).

Já na segunda lavagem, os teores de sódio na solução lixiviada apresentaram uma queda significativa entre os tratamentos que receberam gesso agrícola, independente da dosagem (Figura 4A). Esses resultados indicam, mais uma vez, o quão eficiente é gesso agrícola para lixiviação do sódio para camadas inferiores do solo, reagindo com os íons de Na⁺, contribuindo assim na liberação de maior parte do Na⁺ ainda na primeira lavagem.

Os valores dos TSD e CE apresentaram comportamentos semelhantes ao da primeira lavagem, ou seja, houve aumento significativo até o T3 (100% da NG) e a partir de 157% da NG (7,9 g de gesso agrícola), os dados apresentaram uma tendência de redução nestes valores (Figura 4B e 4C). A interação apresentada na Figura 4D demonstra que, na segunda lavagem, o aumento dos TSD e da CE com a aplicação de gesso agrícola é reflexo da lixiviação de outros sais e não do Na⁺, o que torna uma lavagem do solo acima de 3,5 vezes a CC não recomendada, pois irá favorecer a lixiviação de outros sais de maior importância para fertilidade do solo, como o potássio (K⁺).

Figura 4. Teores de sódio - Na⁺ (A), totais de sais dissolvidos - TSD (B), condutividade elétrica - CE (C) e interação (D) na solução eluída dos solos na segunda lavagem (1,5 x CC).

Figure 4. Sodium-Na⁺ content (A), total dissolved salts-TDS (B), electrical conductivity-EC (C) and interaction (D) in the solution eluted from the soils in the second wash (1.5 x CC).



Comparando as duas lavagens (3,5 e 1,5 x CC), a condutividade elétrica, nas duas situações, apresentou valores semelhantes. Houve aumento na CE a 100% de NG quando comparado com 0 e 50% da NG, apresentando certa estabilidade em relação a 150% da NG, e ligeiro declínio quando comparado a 200% de NG. A condutividade elétrica do solo é um indicador fundamental da sua fertilidade. Ela é determinada por vários fatores, incluindo a salinidade, o conteúdo de água, a textura do solo e certas propriedades químicas, como a Capacidade de Troca Catiônica (CTC). Essa relação foi identificada por Molin & Rabello (2011), reforçando a importância de se ter informações sobre a condutividade elétrica para o manejo eficaz do solo.

Por exemplo, no trabalho realizado por Souza *et al.* (2007), foi identificado que o resultado da condutividade elétrica de um Neossolo Flúvico foi diretamente proporcional ao uso de água moderadamente salina. Este efeito, no entanto, foi atenuado por precipitações, destacando a influência da água na condutividade elétrica do solo.

Sousa *et al.* (2024) demonstraram que a aplicação de gesso agrícola no solo salino-sódico resultou em redução significativa da condutividade elétrica do extrato de saturação após a lavagem do solo. A adição de gesso agrícola promoveu diminuição dos teores trocáveis de sódio, deslocando-o do complexo de troca pelo cálcio liberado pelo corretivo, melhorando sua estrutura e propriedades físicas.

Inicialmente, o gesso dissolve-se em água, liberando Ca²⁺ e SO₄²⁻ para a solução do solo. O cálcio desloca o sódio adsorvido nos colóides devido à sua maior afinidade pelos sítios de troca. O Na⁺ liberado é lixiviado com ajuda do SO₄²⁻, formando compostos solúveis como Na₂SO₄. Esse processo reduz a dispersão das partículas de argila, aumenta a infiltração de água e melhora a estrutura do solo. A eficiência do gesso depende da dose aplicada, da disponibilidade de água para lixiviação e das propriedades do solo (Qadir *et al.*, 2007). Isso levou a redução da salinidade do solo,

evidenciando a eficácia da combinação da lavagem do solo com a aplicação de gesso agrícola na melhoria das condições edáficas para o cultivo de plantas em solos salinos, resultado semelhante ao encontrado neste ensaio.

Neste contexto, a aplicação de gesso agrícola é uma prática recomendada para a correção de solos salino-sódicos e pode efetivamente ajudar a diminuir a salinidade e sodicidade do solo. Quando aplicado ao solo, ele libera íons de cálcio e sulfato. Os íons de cálcio podem substituir o sódio no complexo de troca do solo, que é então lixiviado pela água de drenagem na forma de sulfato de sódio (Brasil *et al.*, 2020).

Vasconcelos *et al.* (2013) avaliaram a eficácia da aplicação de diferentes níveis de gesso agrícola na correção de solos salino-sódicos. Eles notaram que a concentração de sódio na primeira lâmina de lixiviação estava próxima ao valor de sódio solúvel encontrado no extrato de saturação dos solos antes da aplicação do corretivo. No entanto, é importante destacar que cada situação é única, o que irá depender de fatores diversos que são influenciados por condições encontradas em campo. Logo, cada situação deverá ser avaliada individualmente para se determinar qual concentração exigida diante do que é apresentado na área, identificando a melhor abordagem a ser tomada e evitando possíveis desperdícios.

4. Conclusão

O uso do gesso agrícola é recomendado para o tratamento de solos salinizados, devido aos resultados satisfatórios na retirada de sais do solo, seja eles sódicos ou salino-sódicos.

O tratamento onde foi aplicado 100% da NG é o mais indicado, para a recuperação dos solos salinizados dessas áreas.

O aumento das doses de gesso agrícola, além de 150% da NG, faz com que haja uma menor eficiência na dissolução do sódio.

Não é recomendado uma segunda lavagem, pois os valores de Na^+ dissolvidos não justificam essa lavagem, além da possibilidade da perda de outros sais, como K^+ .

Referências

- AESA - Agência Executiva de Gestão das Águas no Estado da Paraíba. **Meteorologia - Chuvas**. 2024. Disponível em: <http://www.aesa.pb.gov.br/aesa-website/meteorologia-chuvas/?formdate=2024-05-21&produto=municipio&periodo=anual>. Acesso em: 21 Mai. 2024.
- ALTHOFF, T. D.; MENEZES, R. S. C.; CARVALHO, A. L.; PINTO, A. S.; SANTIAGO, G. A. C. F.; OMETTO, J. P. H. B.; VON RANDOW, C.; SAMPAIO, E. V. S. B. Climate change impacts on the sustainability of the firewood harvest and vegetation and soil carbon stocks in a tropical dry forest in Santa Teresinha Municipality, Northeast Brazil. **Forest Ecology And Management**, [S.L.], v. 360, p. 367-375, 2016. DOI: 10.1016/j.foreco.2015.10.001.
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. **Köppen's climate classification map for Brazil**. Meteorologische Zeitschrift, Stuttgart, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013. DOI: 10.1127/0941-2948/2013/0507.
- ARAUJO, J. L.; SEVERO, P. J. S.; LUCENA, F. T. C.; VERIATO, R. G.; PAIVA, K. F. Enxofre elementar ou sulfato de cálcio para remediação de solos salino-sódicos? **Pesquisa Agropecuária Tropical**, [S.L.], v. 45, n. 4, p. 388-396, 2015. DOI: 10.1590/1983-40632015v45i37090.
- BRASIL, E. C.; CRAVO, M. da S.; VIEGAS, I. de J. M. (Ed.). **Recomendações de calagem e adubação para o estado do Pará**. 2. ed. rev. e atual. Brasília, DF: Embrapa, 2020.
- CLAESSEN, M. E. C.; BARRETO, W. DE O.; PAULA, J. L. DE; DUARTE, M. N. **Manual de Métodos de Análise de Solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 1997.

- COSTA JÚNIOR, D. S.; FERREIRA, R. L. C.; SILVA, J. A. A.; SILVA, A. F.; PESSOA, M. M. L. Dinâmica de crescimento de uma floresta tropical sazonalmente seca no semiárido brasileiro. **Ciência Florestal**, [S.L.], v. 32, n. 3, p. 1594-1616, 2022. DOI: 10.5902/1980509867697.
- COUTINHO, P. W. R.; CADORIN, D. A.; NORETO, L. M.; GONÇALVES JR, A. Alternativas de remediação e descontaminação de solos: biorremediação e fitorremediação. **Núcleo**, v. 12, n. 1, p. 59-68, 2015. DOI: 10.3738/1982.2278.1400.
- FERREIRA, P. A.; SILVA, J. B. L.; RUIZ, H. A. **Aspectos físicos e químicos de solos em regiões áridas e semiáridas**. In: GHEYI, H. R.; DIAS, N. S.; LACERDA, C. F.; GOMES FILHO, E. **Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados**. Fortaleza: INCTSal. p. 17-34. 2016.
- LIAO, R.; YU, H.; LIN, H.; YANG, P. A quantitative study on three-dimensional pore parameters and physical properties of sodic soils restored by FGD gypsum and leaching water. **Journal Of Environmental Management**, [S.L.], v. 248, p. 109303, 2019. DOI: 10.1016/j.jenvman.2019.109303.
- MOLIN, J. P.; RABELLO, L. M.; Estudos sobre a mensuração da condutividade elétrica do solo. **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 31, n. 1., p. 90-101, 2011. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/eagri/v31n1/v31n1a09>. Acesso em: 12 mai. 2024
- OLIVEIRA, C. D. L.; SILVA, A. P. A.; MOURA, P. A. G. **Distribuição e Importância das Unidades de Conservação no Domínio Caatinga**. Anuário do Instituto de Geociências, v. 42, n. 1, 2019.
- PEGADO, C. M. A.; ANDRADE, L. A. FELIX, L. P. PEREIRA, I. M. Efeitos da invasão biológica de algaroba: *Prosopis juliflora* (Sw.) DC. sobre a composição e a estrutura do estrato arbustivo-arbóreo da caatinga no Município de Monteiro, PB, Brasil. **Acta Botânica Brasílica**, v. 20, n. 4, p. 887-898, 2006. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/abb/v20n4/13.pdf>. Acesso em: 10/05/2024.
- QADIR, M.; GHAFOR, A.; MURTAZA, G. **Amelioration strategies for saline soils: A review**. Land Degradation & Development, v. 11, n. 6, p. 501-521, (2007).
- R CORE TEAM. **R: a language and environment for statistical computing**. Vienna: **R Foundation for Statistical Computing**. Disponível em: <https://www.r-project.org/>. Acesso em: 10 mai. 2024. Clique ou toque aqui para inserir o texto.
- SANTOS, J. M. S. M. **Qualidade da água de drenagem e salinidade do solo no Perímetro Irrigado Jacaré-Curitiba no município de Poço Redondo – Sergipe**. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos) - Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2022. 73 f.
- SANTOS, N. S.; SALES SILVA, J. C.; PEREIRA, W. S., MELO, J. L. R.; DE LIMA, K. V.; LIMA, D. O.; DE ALMEIDA, R. S. **Revista Craibeiras de Agroecologia**, v. 5, n. 1, p. 9452-9452, 2020.
- SANTOS, P. D.; CAVALCANTE, L. F.; GHEYI, H. R.; LIMA, G. S.; GOMES, E. M.; BEZERRA, F. T. C. Saline-sodic soil treated with gypsum, organic sources and leaching for successive cultivation of sunflower and rice. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 23, n. 12, p. 891-898, 2019. DOI: 10.1590/1807-1929/agriambi.v23n12p891-898.
- SCHULZ, K.; VOIGT, K.; BEUSCH, C.; ALMEIDA-CORTEZ, J. S.; KOWARIK, I.; WALZ, A.; CIERJACKS, A. Grazing deteriorates the soil carbon stocks of Caatinga forest ecosystems in Brazil. **Forest Ecology And Management**, [S.L.], v. 367, p. 62-70, 2016. DOI: 10.1016/j.foreco.2016.02.011.
- SOUSA, I. T.; FERRAZ, D. S.; CARVALHO, R. L.; SILVA, A. M.; FIGUEREDO JÚNIOR, L. G. M.; ALBUQUERQUE JUNIOR, B. S. D.; SANTOS, S. C. Atuação de diferentes corretivos na recuperação de solo salino-sódico cultivado com *Pithecellobium dulce* (Roxb.) Benth. **Revista**

Brasileira de Geografia Física, [S.L.], v. 17, n. 1, p. 626-637, 2024. DOI: 10.26848/rbgf.v17.1.p626-637.

SOUZA, E. R.; MONTENEGRO, A. A. A.; SANTOS, F. X.; COSTA NETO, M. L. Dinâmica da condutividade elétrica em Neossolo Flúvico no semi-árido. **Revista de Biologia e Ciência da Terra**. v.7, n.2, p. 124-131, 2007. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Edivan_Souza/publication/242633440_Dinmica_da_condutividade_eltrica_em_Neossolo_Flvico_no_semi-rido/links/5550809508ae956a5d24d164.pdf. Acesso em: 12 mai. 2024.

SUMÉ (PB). **Cidades e Estados**. IBGE. 2022. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/pb/sume.html>. Acesso em: 30 abr. 2024.

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**, v. 16, p. 247-252, 2012. DOI: 10.1590/S1415-43662012000300002.

TSUYUGUCHI, B. B.; MORGAN, E. A.; RÊGO, J. C.; GALVÃO, C. O. Governance of alluvial aquifers and community participation: a social-ecological systems analysis of the Brazilian semi-arid region. **Hydrogeology Journal**, v. 28, p. 1539–1552, 2020. DOI: 10.1007/s10040-020-02160-8

VASCONCELOS, R. F. A.; BARROS, M. F. C.; SILVA, Ê. F. F.; GRACIANO, E. S. A.; FONTENELE, A. J. P. B.; SILVA, N. M. L. Características físicas de solos salino-sódicos do Semiárido pernambucano em função de diferentes níveis de gesso. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, p. 1318-1325, 2013. DOI: 10.1590/S1415-43662013001200010.

VIEIRA, R. M. D. S. P.; TOMASELLA, J.; BARBOSA, A. A.; POLIZEL, S. P.; OMETTO, J. P. H. B.; SANTOS, F. C.; DE TOLEDO, P. M. Mapeamento da degradação do solo na região do MATOPIBA (Brasil) usando dados de sensoriamento remoto e análise de árvore de decisão. **Science of the Total Environment**, v. 782, p. 146900, 2021. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2021.146900.

VITTI, G. C.; LUZ, P. H. C.; MALAVOLTA, E.; DIAS, A. S.; SERRANO, C. G. E. **Uso do gesso em sistemas de produção agrícola**. Piracicaba: ESALQ/GAPE, 2008. 104 p.

Contribuição dos autores:

Rosilvam Ramos Sousa e Cleyton dos Santos Souza: conduziram a revisão da literatura e experimento; Maria Daiza de Sousa Alves e Carlos Luiz da Silva: redigiram a versão original do artigo; Sara Sebastiana Nogueira e Duberli Elera Gonzales: revisaram o artigo, realizaram a análise dos dados e discutiram os resultados. Todos os autores revisaram o manuscrito.

Agradecimento

Expressamos nossa gratidão ao grupo de pesquisa Northeast Ecology and Management Research Group - NorEMa, cuja colaboração intelectual foi essencial para a concepção e desenvolvimento deste trabalho.

Financing source:

Este estudo foi possível graças ao apoio financeiro da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

Conflito de Interesse

Os autores declaram não haver conflito de interesse

Editor associado:

Renê Arnoux da Silva Campos

ORIGINAL ARTICLE

