

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO

MARLLON DOS SANTOS MARTINS

**SOLOS SALINO- SÓDICOS CONDICIONADOS COM GESSO E
ENXOFRE COM *Acidithiobacillus thiooxidans***

Recife
2021

Marllon dos Santos Martins
Engenheiro agrônomo

**Solos salino-sódicos condicionados com gesso e enxofre com
*Acidithiobacillus thiooxidans***

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciência do Solo da Universidade Federal Rural de Pernambuco, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Ciência do solo

Orientador: Dr. Newton Pereira Stamford

Coorientadora: Dra. Emmuella Vila Nova da Silva

Recife
2021

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação Universidade Federal Rural de Pernambuco Sistema Integrado de Bibliotecas
Gerada automaticamente, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

M386s Martins, Marllon dos Santos
Solos salino-sódicos condicionados com gesso e enxofre com *Acidithiobacillus thiooxidans* / Marllon dos Santos Martins. - 2021.
70 f. : il.

Orientador: Newton Pereira Stamford. Coorientadora: Emmuella Vila Nova da Silva. Inclui referências.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Recife, 2021.

1. Salinidade. 2. Bactéria oxidante. 3. Sodocidade. I. Stamford, Newton Pereira, orient. II. Silva, Emmuella Vila Nova da, coorient. III. Título

CDD 631.4

MARLLON DOS SANTOS MARTINS

Solos salino-sódicos condicionados com gesso e enxofre com
Acidithiobacillus thiooxidans

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, da Universidade Federal Rural de Pernambuco, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciência do Solo.

Aprovada em 31 de Agosto de 2021.

Prof. Dr. Newton Pereira Stamford Orientador
Universidade Federal Rural de Pernambuco

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Edivan Rodrigues de Souza
Universidade Federal Rural de Pernambuco

Dra. Carolina Etienne de Rosália e Silva Santos
Universidade Federal Rural de Pernambuco

AGRADECIMENTOS

A Deus, por me conceder a graça de viver, grande vitória e ser meu refúgio, sobretudo, nos momentos mais difíceis da vida.

Aos meus Pais, José Fernandes Martins da Silva e Josefa Cristina dos Santos, por simplesmente me apoiarem em todas as decisões e situações, por seres exemplos de pessoas, por todo amor e carinho.

A minha irmã, Maria Fernanda, por todo amor, força e carinho.

A todos os meus familiares. E aqueles que mesmo não estando mais presentes fisicamente. Obrigado por tudo.

O meu Orientador, Dr. Newton Pereira Stamford, sou grato por me receber no grupo de pesquisa, pelas conversas, atenção, instrução e transmissão dos conhecimentos ao longo dessa jornada.

A minha coorientadora, Dra. Emmuella Vila Nova da Silva, pelas conversas, atenção, instrução e transmissão dos conhecimentos ao longo dessa jornada.

A professora Dra. Betânia Freire pela por permitir o acesso ao laboratório de química do solo.

A Pedro e Paulo pelo suporte no laboratório.

A toda minha família e amigos por todo carinho, amor e afeto. Ao UFRPE, pela oportunidade de realização desse curso.

A FACEPE, pelo apoio e financiamento das bolsas de iniciação científica.

Aos meus amigos e amigas do Laboratório de Biotecnologia Ambiental: Wagner, Joais, Emmanuella, Jamilly, Lusiene, Marta, Iderlane e Maria de Nazaré pelo convívio e todo apoio.

Aos meus amigos e amigas: Frank, Fernanda, Marina, Bruno, Igor, Joais, Emmanuella, Wagner, Jamilly, Patrick, Aline, Jéssica, James, Iderlane e Maria de Nazaré pelo convívio e todo apoio.

Aos Professores do mestrado do Programa de pós-graduação em ciências do solo, por todos os conhecimentos repassados durante essa jornada.

MINHA ETERNA GRATIDÃO

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 1. Caracterização de atributos químicos dos cátions trocáveis das amostras dos solos | 23 |
| Tabela 2. Caracterização de atributos químicos do extrato de saturação das amostras dos solos | 23 |
| Tabela 3. Caracterização de atributos físicos das amostras dos solos | 24 |
| Tabela 4. Meio para isolamento de <i>Acidithiobacillus thiooxidans</i> (Meio 9K) | 25 |

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mapa da localização do Município Serra Talhada- PE22

Figura 2. Valores do K^+ Trocável do solo 1 (A); solo2 (B), em função dos tratamentos S: enxofre elementar (com *Acidithiobacillus thiooxidans*), G: gesso, S +G, gesso 50% da dose e enxofre (com *Acidithiobacillus thiooxidans*) 50% da dose e o controle absoluto (solo sem condicionador) e tempos de incubação (0,15,30 e 45 dias). CV: 11,24%. Colunas com as letras minúsculas diferentes no mesmo tempo de incubação mostram diferença significativa pelo teste de Tukey 5% de probabilidade28

Figura 3. Valores do Na^+ Trocável do solo 1 (A); solo2 (B), em função dos tratamentos S: enxofre elementar (com *Acidithiobacillus thiooxidans*), G: gesso, S +G: gesso 50% da dose e enxofre (com *Acidithiobacillus thiooxidans*) 50% da dose e controle absoluto (solo sem condicionador) e tempo de incubação (0,15,30 e 45 dias). CV: 11,44%. Colunas com as letras minúsculas diferentes no mesmo tempo de incubação mostram diferença significativa pelo teste de Tukey 5% de probabilidade30

Figura 4. Valores do Ca^{2+} Trocável do solo 1 (A); solo2 (B), em função dos tratamentos S: enxofre elementar (com *Acidithiobacillus thiooxidans*), G: gesso, S +G: enxofre (com *Acidithiobacillus thiooxidans*) 50% da dose e gesso 50% da dose, controle absoluto (solo sem condicionador) e tempo de incubação (0,15,30 e 45 dias). CV: 15,02%. Colunas com as letras minúsculas diferentes no mesmo tempo de incubação mostram diferença significativa pelo teste de Tukey 5% de probabilidade32

Figura 5. Valores do Mg^{2+} Trocável do solo 1 (A); solo2 (B), em função dos tratamentos S: enxofre elementar (com *Acidithiobacillus thiooxidans*), G: gesso, S +G: enxofre (com *Acidithiobacillus thiooxidans*) 50% da dose e gesso 50% da dose, controle absoluto (solo sem condicionador) e tempos de incubação (0,15,30 e 45 dias). CV: 17,64%. Colunas com as letras minúsculas diferentes no mesmo tempo de incubação mostram diferença significativa pelo teste de Tukey 5% de probabilidade34

Figura 6. Valores da capacidade de troca de cátions (CTC) do solo1 (A); do solo 2 (B), em função dos tratamentos S: enxofre elementar (com *Acidithiobacillus thiooxidans*); G: gesso, S +G: enxofre (com *Acidithiobacillus thiooxidans*) 50% da dose e gesso 50% da dose, controle absoluto (solo sem condicionador) e tempos de incubação (0,15,30 e 45 dias). CV: 11,23%. Colunas com as letras minúsculas diferentes no mesmo tempo de incubação mostram diferença significativa pelo teste de Tukey 5% de probabilidade35

Figura 7. Percentagem de sódio trocável (PST) do solo1 (A); do solo 2 (B), em função dos tratamentos S: enxofre elementar (com *Acidithiobacillus thiooxidans*); G: gesso, S +G: enxofre (com *Acidithiobacillus thiooxidans*) 50% da dose e gesso 50% da dose, controle absoluto (solo sem condicionador) e tempo de incubação (0,15,30 e 45 dias). CV: 7,21%. Colunas com as letras minúsculas diferentes no mesmo tempo de incubação mostram diferença significativa pelo teste de Tukey 5% de probabilidade38

Figura 8. Valores do pH do solo 1 (A); solo2 (B), em função dos tratamentos S: enxofre elementar (com *Acidithiobacillus thiooxidans*), G: gesso, S +G: enxofre (com *Acidithiobacillus thiooxidans*) 50% da dose e gesso 50% da dose, controle absoluto (solo sem condicionador) e tempo de incubação (0,15,30 e 45 dias). CV: 1,77%. Colunas com as letras minúsculas diferentes no mesmo tempo de incubação mostram diferença significativa pelo teste de Tukey 5% de probabilidade40

Figura 9. Valores do pHes do extrato da pasta saturada do solo 1 (A); solo2 (B), em função dos tratamentos S: enxofre elementar (com *Acidithiobacillus thiooxidans*), G: gesso, S +G: enxofre (com *Acidithiobacillus thiooxidans*) 50% da dose e gesso 50% da dose, controle absoluto (solo sem condicionador) e tempo de incubação (0,15,30 e 45 dias). CV: 2,31%. Colunas com as letras minúsculas diferentes no mesmo tempo de incubação mostram diferença significativa pelo teste de Tukey 5% de probabilidade42

Figura 10. Valores de condutividade elétrica (CE) da pasta saturada do solo 1 (A); do solo 2 (B), em função dos tratamentos S: enxofre elementar (com *Acidithiobacillus thiooxidans*), G: gesso, S +G: gesso 50% da dose e enxofre (com *Acidithiobacillus*

thiooxidans) 50% da dose e controle absoluto (solo sem condicionador) e tempos de incubação (0,15,30 e 45 dias). CV: 5,90%. Colunas com as letras minúsculas diferentes no mesmo tempo de incubação mostram diferença significativa pelo teste de Tukey 5% de probabilidade44

Figura 11. Valores de K^+ solúvel do solo 1 (A); do solo 2 (B), em função dos tratamentos S: enxofre elementar (com *Acidithiobacillus thiooxidans*), G: gesso, S +G: gesso 50% da dose e enxofre (com *Acidithiobacillus thiooxidans*) 50% da dose e controle absoluto (solo sem condicionador) e tempo de incubação (0,15,30 e 45 dias). CV: 27,34%. Colunas com as letras minúsculas diferentes no mesmo tempo de incubação mostram diferença significativa pelo teste de Tukey 5% de probabilidade46

Figura 12. Valores do Na^+ solúvel do solo 1 (A); solo2 (B), em função dos tratamentos S: enxofre elementar (com *Acidithiobacillus thiooxidans*), G: gesso, S+G gesso 50% da dose e enxofre (com *Acidithiobacillus thiooxidans*) 50% da dose e controle (solo sem condicionador) e tempos de incubação (0,15,30 e 45 dias). CV: 8,03%. Colunas com as letras minúsculas diferentes no mesmo tempo de incubação mostram diferença significativa pelo teste de Tukey 5% de probabilidade 48

Figura 13. Valores do Ca^{2+} solúvel do solo 1 (A); solo2 (B), em função dos tratamentos S: enxofre elementar (com *Acidithiobacillus thiooxidans*), G: gesso, S +G :gesso 50% da dose e enxofre (com *Acidithiobacillus thiooxidans*) 50% da dose e o controle absoluto (solo sem condicionador) e tempo de incubação (0,15,30 e 45 dias). CV: 21,84%. Colunas com as letras minúsculas diferentes no mesmo tempo de incubação mostram diferença significativa pelo teste de Tukey 5% de probabilidade 50

Figura 14. Valores do Mg^{2+} solúvel do solo 1 (A); solo2 (B), em função dos tratamentos S: enxofre elementar (com *Acidithiobacillus thiooxidans*), G: gesso, S +G: gesso 50% da dose e enxofre (com *Acidithiobacillus thiooxidans*) 50% da dose e controle absoluto (solo sem condicionador) e tempos de incubação (0,15,30 e 45 dias). CV: 49,18%. Colunas com as letras minúsculas diferentes no mesmo tempo de incubação mostram diferença significativa pelo teste de Tukey 5% de probabilidade52

Figura 15. Valores da Relação de adsorção de sódio (RAS) do extrato de saturação do solo1 (A); do solo 2 (B), em função dos tratamentos S: enxofre elementar (com *Acidithiobacillus thiooxidans*); G: gesso, S +G: gesso 50% da dose e enxofre (com *Acidithiobacillus thiooxidans*) 50% da dose e o controle absoluto (solo sem condicionador) e tempos de incubação (0,15,30 e 45 dias). CV: 12,70%. Colunas com as letras minúsculas diferentes no mesmo tempo de incubação mostram diferença significativa pelo teste de Tukey 5% de probabilidade..... 54

Figura 16. Valores da condutividade elétrica (CE) do lixiviado do solo 1 (A); solo2 (B), em função dos tratamentos S: enxofre elementar (com *Acidithiobacillus thiooxidans*), G: gesso, S +G: enxofre (com *Acidithiobacillus thiooxidans*) 50% da dose e gesso 50% da dose, controle absoluto (solo sem condicionador) e tempo de incubação (0,15,30 e 45 dias). CV: 11,15%. Colunas com as letras minúsculas diferentes no mesmo tempo de incubação mostram diferença significativa pelo teste de Tukey 5% de probabilidade56

Figura 17. Valores do Na⁺ do lixiviado do solo 1(A) 2 do solo 2 (B) em função dos tratamentos S: enxofre elementar (com adição de *Acidithiobacillus thiooxidans*), G: gesso, S +G: enxofre (com adição de *Acidithiobacillus thiooxidans*) 50% da dose e gesso 50% da dose, controle absoluto (solo sem condicionador) e tempo de incubação (0,15,30 e 45 dias). CV: 19,63%. Colunas com as letras minúsculas diferentes no mesmo tempo de incubação mostram diferença significativa pelo teste de Tukey 5% de probabilidade..... 58

Figura 18. Valores do K⁺ do lixiviado do solo 1(A) 2 do solo 2 (B) em função dos tratamentos S: enxofre elementar (com *Acidithiobacillus thiooxidans*), G: gesso, S +G: enxofre (com *Acidithiobacillus thiooxidans*) 50% da dose e gesso 50% da dose, controle absoluto (solo sem condicionador) e tempo de incubação (0,15,30 e 45 dias). CV: 26,19%. Colunas com as letras minúsculas diferentes no mesmo tempo de incubação mostram diferença significativa pelo teste de Tukey 5% de probabilidade60

Figura 19. Valores de Mg^{2+} do lixiviado do solo 1 (A); do solo 2 (B), em função dos tratamentos S: enxofre elementar (com *Acidithiobacillus thiooxidans*), G: gesso, S +G: enxofre (com *Acidithiobacillus thiooxidans*) 50% da dose e gesso 50% da dose e o controle absoluto (solo sem condicionador) nos tempos de incubação (0,15,30 e 45 dias). CV: 36%. Colunas com as letras minúsculas diferentes no mesmo tempo de incubação mostram diferença significativa pelo teste de Tukey 5% de probabilidade62

Figura 20. Valores de Ca^{2+} lixiviado do solo 1 (A); solo2 (B), em função dos tratamentos S: enxofre elementar (com *Acidithiobacillus thiooxidans*), G: gesso, S +G: enxofre (com *Acidithiobacillus thiooxidans*) 50% da dose e gesso 50% da dose, controle absoluto (solo sem condicionador) e tempo de incubação (0,15,30 e 45 dias). CV: 20,64%. Colunas com as letras minúsculas diferentes no mesmo tempo de incubação mostram diferença significativa pelo teste de Tukey 5% de probabilidade64

**Solos salino-sódicos condicionados com gesso e enxofre com
Acidithiobacillus thiooxidans.**

RESUMO

Os solos salino-sódicos ocorrem, especialmente, nas regiões áridas e semiáridas devido ao material de origem, baixa precipitação e elevada evapotranspiração. O manejo inadequado é uma das causas e o principal dano é a degradação e abandono dessas áreas. Estes solos devem ser corrigidos visando a redução do pH, a concentração dos sais solúveis e do sódio trocável para melhoria da qualidade do solo. O principal objetivo do trabalho é comparar o enxofre elementar inoculado com a bactéria oxidante gênero (*Acidithiobacillus*) que produz ácido sulfúrico e pode ser usado no condicionamento de solos salino-sódicos e sódicos e seu efeito comparado com o gesso e a mistura dos dois materiais. O experimento foi realizado em casa de vegetação em esquema fatorial 2x4, usando dois solos salino-sódicos; quatro tratamentos: 1) gesso (11,5t ha⁻¹ para S1; 17,5 t ha⁻¹ para o solo 2,); 2) enxofre elementar com *Acidithiobacillus thiooxidans*, 3) enxofre com *Acidithiobacillus thiooxidans* 50% (1t ha⁻¹ para o S1; 1,63t ha⁻¹ para S2) + gesso 50%(7,75t ha⁻¹ para S1; 8,75t ha⁻¹ para S2) e 4) controle (solo sem condicionador), Usou-se quatro tempos de incubação(0;15;30 e 45 dias) com três repetições. após realizada a aplicação de lâmina de lixiviação, sendo a primeira na montagem do experimento (0 dias), e em seguida nos demais tempo de incubação. coletaram-se amostras para análises química dos solos e do material lixiviado. O enxofre elementar com *Acidithiobacillus thiooxidans* promoveu maior redução de pH; condutividade elétrica e percentagem de sódio trocável do solo, sendo mais eficiente na redução da salinidade e sodicidade, quando comparado com gesso e 50% enxofre com *Acidithiobacillus thiooxidans* + 50% gesso. O gesso forneceu para ambos os solos aumento na concentração de Ca²⁺. Aos 45 dias de incubação promoveu efeito positivo com os condicionantes na melhoria química e redução da sodicidade dos solos. Mas é necessário aumentar o período de incubação uma maior eficiência da recuperação do solo.

Palavras-chave: Salinidade. Bactéria oxidante. Sodicidade.

Saline-sodic soil conditioned by gypsum and sulfur inoculated with *Acidithiobacillus thiooxidans*

ABSTRACT

Saline-sodic soils occur, especially, in arid and semi-arid regions due to the source material, low precipitation and high evapotranspiration. Inadequate management is one of the causes and the main damage is the degradation and abandonment of these areas. These soils must be corrected in order to reduce the pH, the concentration of soluble salts and exchangeable sodium to improve the quality of the soil. The main objective of the work is to compare the elemental sulfur inoculated with the oxidizing bacteria genus (*Acidithiobacillus*) which produces sulfuric acid and can be used in the conditioning of saline-sodic and sodic soils and its effect compared with gypsum and the mixture of the two materials. The main objective of the work is to compare the elemental sulfur inoculated with the oxidizing bacteria genus (*Acidithiobacillus*) which produces sulfuric acid and can be used in the conditioning of saline-sodic and sodic soils and its effect compared with gypsum and the mixture of the two materials. The experiment was carried out in a greenhouse in a 2x4 factorial scheme, using two saline-sodic soils; four treatments: 1) gypsum (11.5t ha⁻¹ for S1; 17.5 t ha⁻¹ for soil 2,); 2) elemental sulfur with *Acidithiobacillus thiooxidans*, 3) sulfur with *Acidithiobacillus thiooxidans* 50% (1t ha⁻¹ for S1; 1.63t ha⁻¹ for S2) + 50% gypsum (7.75t ha⁻¹ for S1; 8, 75t ha⁻¹ for S2) and 4) control (soil without conditioner), Four incubation times (0;15;30 and 45 days) with three replications were used. after performing the application of a leaching blade, being the first in the setup of the experiment (0 days), and then in the other incubation time. samples were collected for chemical analysis of soils and leachate material. Elemental sulfur with *Acidithiobacillus thiooxidans* promoted greater pH reduction; electrical conductivity and exchangeable sodium percentage in the soil, being more efficient in reducing salinity and sodicity, when compared with gypsum and 50% sulfur with *Acidithiobacillus thiooxidans* + 50% gypsum. Gypsum provided an increase in the concentration of Ca²⁺ for both soils. At 45 days of incubation, it had a positive effect with the conditions on chemical improvement and reduction of soil sodicity. But it is necessary to increase the incubation period for greater efficiency in soil recovery.

Keywords: Salinity. Oxidizing bacteria. Sodidity.

SUMÁRIO

| | |
|--|----|
| 1 INTRODUÇÃO | 15 |
| 1.1 Hipóteses | 16 |
| 1.2 Objetivos | 16 |
| 1.2.1 Geral..... | 16 |
| 1.2.2 Específicos | 16 |
| 2 REVISÃO DE LITERATURA | 17 |
| 2.1 Classificação dos solos salinos, salino-sódicos e sódicos..... | 17 |
| 2.2 O efeito da Salinidade no solo..... | 18 |
| 2.3 Condicionamento de solos salinizados..... | 19 |
| 3 MATERIAL E MÉTODOS | 21 |
| 3.1 Solos avaliados | 21 |
| 3.2 Caracterização química..... | 22 |
| 3.3 Caracterização física dos solos..... | 23 |
| 3.4 Condicionadores dos solos salino-sódicos..... | 24 |
| 3.5 Tratamentos e delineamento experimental..... | 25 |
| 3.6 Determinações do solo e do extrato lixiviado | 26 |
| 3.7 Análise estatística..... | 27 |
| 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO..... | 27 |
| 4.1 Atributos químicos do solo | 27 |
| 4.1.1 Trocável..... | 27 |
| 4.1.2 pH do solo, pHes e solúveis..... | 39 |
| 4.2 Avaliação do extrato lixiviado | 55 |
| 5 CONCLUSÕES | 65 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 65 |

1 INTRODUÇÃO

A Salinização e sodificação dos solos ocorrem, especialmente, nas regiões áridas e semiáridas, em decorrência das condições climáticas, onde a taxa de evapotranspiração é superior a precipitação, devido ao alto índice de radiação solar com a irregularidade do regime pluviométrico. O manejo não eficiente da irrigação utilizando águas de rios, barragens e poços contendo excessos de sais dissolvidos, em diferentes proporções, assim, promovendo o acúmulo de sais solúveis e/ou sódio no solo. O uso inadequado da água de irrigação com excesso de sais pode proporcionar, ao longo do tempo, a expansão de áreas com restrições agrícolas, principalmente nos perímetros irrigados.

Os solos salino-sódicos e sódicos apresentam elevados teores de sódio no solo. Nesses solos há necessidade da aplicação de um corretivo químico, com a finalidade de substituir o sódio do complexo de troca para a solução do solo. Ao transferir o excesso de sódio para a solução do solo é o momento da realização da lixiviação desse sódio.

O corretivo químico mais utilizado na recuperação do solo salino-sódico e sódico é o gesso, em virtude da facilidade de obtenção e baixo custo. Gesso é um condicionador que quando aplicado eleva o teor de cálcio na solução do solo. Outro corretivo químico é o enxofre elementar que apresenta potencial na correção do solo afetados por sais. O uso do enxofre elementar com a bactéria oxidante é de aumentar a eficiência da ação do condicionador na recuperação do solo. A recuperação de solos afetados pela alta concentração dos sais solúveis e do sódio trocável no perfil do solo tem como finalidade de reduzir a concentração do sódio trocável do solo, a um nível não prejudicial ao desenvolvimento das culturas.

Diante da necessidade da produção agrícola é importante que o solo seja adequado quanto a sua capacidade produtiva. Os solos afetados por sais, especialmente em subsuperfície, são limitados quanto a capacidade de infiltração e de drenagem.

Portanto, esta pesquisa teve como objetivo avaliar as alterações nos atributos químicos de dois solos salino-sódicos pela aplicação do enxofre elementar inoculado com *Acidithiobacillus* em comparação com gesso, submetidos a diferentes tempos de incubação.

1.1 Hipóteses

O enxofre elementar (S^0) com adição de *Acidithiobacillus* têm a capacidade de condicionar solos salinizados através da acidez produzida pela oxidação, e atua em especial na redução do pH.

O enxofre elementar (S^0) com adição de *Acidithiobacillus* mais o gesso tem o potencial de correção da sodicidade do solo.

1.2 Objetivos

1.2.1 Geral

Desenvolver tecnologia para condicionamento de solos salino-sódicos e comparar o gesso com o emprego do enxofre com *Acidithiobacillus* no condicionamento dos solos submetidos a diferentes tempos de incubação.

1.2.2 Específicos

- Estudar a atuação do enxofre elementar e *Acidithiobacillus* na neutralização da alcalinidade do solo, comparando com adição de gesso;
- Avaliar a atuação do enxofre elementar e *Acidithiobacillus* em atributos químicos do solo;
- Avaliar a influência da lâmina de lixiviação na neutralização da alcalinidade do solo.
- Avaliar a influência dos períodos de incubação dos condicionadores sobre as propriedades químicas dos dois solos com excesso de sais e de sódio trocável.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Classificação dos solos salinos, salino-sódicos e sódicos

O solo afetado pela salinidade é encontrado principalmente em áreas áridas e semiáridas, e a taxa de evapotranspiração é superior à taxa de precipitação (BUTCHER et al., 2016; GORJI; SERTEL; TANIK, 2017).Dentre os fatores que favorecem os processos de salinização e sodificação dos solos promovendo o acúmulo de sais solúveis e/ou sódio trocável, se destacam os fatores de formação (material de origem, relevo, organismos, clima e relevo) as propriedades físicas e químicas do solo (PEDROTTI et al., 2015).

Os solos com excesso de sais (solos salinos), com a predominância de sódio trocável no complexo de troca de solo (solos sódicos), ou uma combinação de ambos (solos salino-sódicos), são encontrados em áreas com solos em condições imperfeitas de drenagem (RIBEIRO, 2016). Os solos são distribuídos em diferentes regiões, em virtude das características de climas, processos de formação do solo, e as causas da salinização diferem de um local de forma natural e/ou pelas as atividades antropogênicas, que são conhecidas como salinização primária e secundária respectivamente (SINGH et al., 2013; IVUSHKIN et al., 2018). A salinidade do solo é a segunda maior causa da degradação do solo, ficando atrás apenas da erosão, cerca de 2.000 ha de solo com problemas de salinização diariamente em escala global (SHAHID; ZAMAN; HENG, 2018).

Na salinização primária, conhecida como salinização natural do solo pode ocorrer pela intemperização do material de origem rico em sais, minerais de carbonato e/ou feldspatos, a salinização primaria pode ocorrer com o aumento da concentração de sais nas águas subterrâneas e que possuem lençol freático próximo da superfície (DALIAKOPOULOS et al., 2016). Os sais previamente dissolvidos podem acumular-se na camada superficial do solo por evapotranspiração e afetar características do solo, como porosidade, taxa de infiltração e taxa de compactação (VAN BEEK; TÓTH, 2012).

A salinização secundaria se refere à salinização do solo devido às atividades humanas pelo o manejo inadequado do solo, principalmente em áreas irrigadas nas quais os manejos de irrigação são ineficientes e com a drenagem restrita (GHASSEMI; JAKEMAN; NIX, 1995). O clima com altas taxas de evapotranspiração e baixa pluviosidade, solo que não consegue a lixiviação de sais, terras áridas e semiáridas,

e irrigadas são pontos de salinização relevantes (DALIAKOPOULOS et al., 2016).

Segundo o relatório da FAO (2015), no mundo mais de 30% dos solos estão em processo de degradação em virtude da acidificação, salinização e erosão. A erosão é o principal causador da degradação do solo.

Solos salinizados são oriundos da alta concentração de sais solúveis no solo (PEDROTTI et al., 2015) e são estimados pela condutividade elétrica do extrato de saturação (CEes) que representa o conteúdo total de sais na solução do solo, na percentagem de sódio trocável (PST), que representa o percentual de Na^+ trocável em relação à capacidade de troca de cátions (CTC) do solo, a equação usada para calcular a PST a Eq. 1:

$$PST = \frac{\text{Sódio trocável}}{CTC} \times 100$$

Segundo USSL STAFF (1954) a classificação do solo afetado por sais é em relação ao pH, condutividade elétrica (CE) e a percentagem de sódio trocável (PST), são classificados como solos salinos, salino-sódicos e sódicos.

- a) salinos quando apresentam $CE \geq 4 \text{ dS m}^{-1}$, $PST < 15\%$ e pH menor que 8,5;
- b) Salino-sódicos quando tem $CE \geq 4 \text{ dS m}^{-1}$, $PST \geq 15\%$ e o pH maior que 8,5;
- c) Os solos sódicos são caracterizados por ter $CE < 4 \text{ dS m}^{-1}$, $PST \geq 15\%$ e, pH maior que 8,5.

2.2 O efeito da Salinidade no solo

Solos com excesso de sais solúveis ou sódio trocáveis ou ambos no perfil do solo, promove alterações nos processos físicos e químicos, elevação do pH, a relação de adsorção de sódio (RAS) e na porcentagem de sódio trocável (PST), modificando a permeabilidade e a propriedade do solo (SINGH et al., 2013). O alto teor de Na^+ trocável contribui para as alterações na estruturação do solo, diminuindo a aeração e a condutividade hidráulica, reduzindo a movimentação e armazenamento da água no solo (BRONICK; LAL, 2005).

O uso da irrigação com águas subterrâneas com excesso de sais, a longo prazo

aumentará a salinidade do solo, principalmente nos horizontes superficiais (ZHANG et al., 2012 , HUANG et al., 2016). De forma antrópica, por meio do manejo inadequado da irrigação no perímetro irrigado, provoca com tempo acúmulo de sais no perfil do solo, fator que limita a expansão da produção (PEDROTTI et al., 2015; HOLANDA et al., 2016; MEDEIROS et al., 2016; PESSOA et al., 2019).

No semiárido do nordeste brasileiro áreas irrigadas com excesso de sais têm provocado alterações nas propriedades físico-hídricas dos solos, em consequência da ação dispersiva dos sais envolvidos sobre as partículas de solo, tornando-os adensados (RESENDE et al., 2016).

O acúmulo do sódio trocável no solo pode contribuir para a dispersão da argila, adensamento e, aumento da erosão, principalmente em solos que não possuem estrutura resistente (SHARP-HEWARD; ALMOND; ROBINSON, 2014). Nesses solos, o desenvolvimento das plantas é prejudicado pelo aumento do potencial osmótico do solo, que dificulta a absorção da água e nutrientes pelas raízes, e pela toxidez do sódio, boro, bicarbonatos e cloretos. O sódio em excesso inibe a absorção de outros nutrientes (PEDROTTI et al., 2015).

A degradação do solo com excesso de sais com predominância de sódio em relação aos teores de cálcio e magnésio, dificulta o manejo do solo, pois ocorrem alterações nas propriedades físicas, causada pela dispersão, isto é, os coloides dispersos são movimentados no perfil do solo, assim, obstruindo os poros alterando a estrutura do solo (DIAS; BLANCO, 2010). A salinidade tem aumentado degradação das áreas de perímetros irrigados, diminuindo o potencial agrícola do solo (MIRANDA et al., 2011).

2.3 Condicionamento de solos salinizados

Para a recuperação dos solos afetados por sais são utilizadas inúmeras técnicas para remover o sódio trocável excessivo, dentre elas, a aplicação de condicionadores químicos e a lixiviação dos sais, pois atuam na correção dos problemas causadas pelo excesso de sais (JESUS et al., 2018 ; WANG et al., 2019).

Para Solos salinos é necessário promover a lixiviação dos sais solúveis em altas concentrações. O condicionamento dos solos salino-sódicos e sódicos tem como principal objetivo a diminuição da concentração dos sais solúveis e do sódio trocável no perfil do solo, a redução do pH, por meio da remoção do Na^+ das camadas de troca

catiônica do coloide e, posterior lixiviação dos sais da zona radicular (VASCONCELOS et al., 2013). Na correção da salinização no solo, muitas técnicas são usadas como melhoradores químicos feito o gesso, enxofre e materiais orgânicos (STAMFORD et al., 2015).

Dentre os corretivos, o gesso é o mais utilizado principalmente devido ao seu baixo custo, muitos trabalhos mostrando efeito positivo na melhoria dos atributos físicos e químicos do solo (LEITE et al., 2007; MIRANDA et al., 2011; SOUSA et al., 2012).

O gesso é um produto químico usado para a melhoria de solos salino-sódicos e sódicos, o gesso uma fonte de cálcio, o Ca^{2+} substitui o Na^+ trocável no solo e, assim, diminui a alcalinidade do solo (LIAO et al., 2019). Com o aumento da concentração de cálcio e baixo teor do sódio diminuição acentuada da RAS e PST, sendo assim, promovendo a formação de agregados e melhorando a estrutura do solo (ZHAO et al., 2019)

A matéria orgânica (MO) é usada como corretivo, tem baixo custo e aumenta a disponibilidade de resíduos orgânicos (WU et al., 2012), gerando íons mais solúveis (K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} e Fe^{2+}), que são ativados devido a adição de ácidos orgânicos, que por sua vez substituem o Na^+ trocável (MAO et al., 2019).

Os materiais orgânicos fornecem contribuições de apoio para a recuperação de solos salino-sódicos e sódicos, atuando na reestruturação do solo, melhoram a estrutura e agregação do solo e melhoram a capacidade de troca catiônica (LEOGRANDE; VITTI, 2019). Para dissolver e transportar os sais da camada superficial do solo é recomendado fazer o uso de lâminas de lixiviação, aplicando água suficiente para levar os sais até o sistema de drenagem (STAMFORD et al., 2015). Outra forma de condicionamento de solos salinos- sódicos é pela aplicação do corretivo químico enxofre.

Segundo Mohamed et al. (2014), a oxidação do enxofre resulta na formação de sulfato, que pode ser utilizado pelas plantas, enquanto a acidez produzida pela oxidação solubiliza nutrientes e promove o condicionamento dos solos salinizados.

A correção de solos salino-sódicos e sódicos com o enxofre inoculado com a bactéria oxidante do gênero *Acidithiobacillus*, é feita pela oxidação de enxofre no solo, grande importância no ciclo de enxofre, no solo as bactérias são encontradas naturalmente, mas podem não ser abundantes em solos agrícolas, como relatados

por (STAMFORD et al., 2015).

As bactérias oxidantes do enxofre do gênero (*Acidithiobacillus*) contribuem para a redução do pH do solo, amenizando as condições adversas que ocorrem em solos com valores de pH mais elevados, estas bactérias são promissoras para o condicionamento de áreas degradadas por salinização e solo com pH altamente alcalino (STAMFORD et al., 2015).

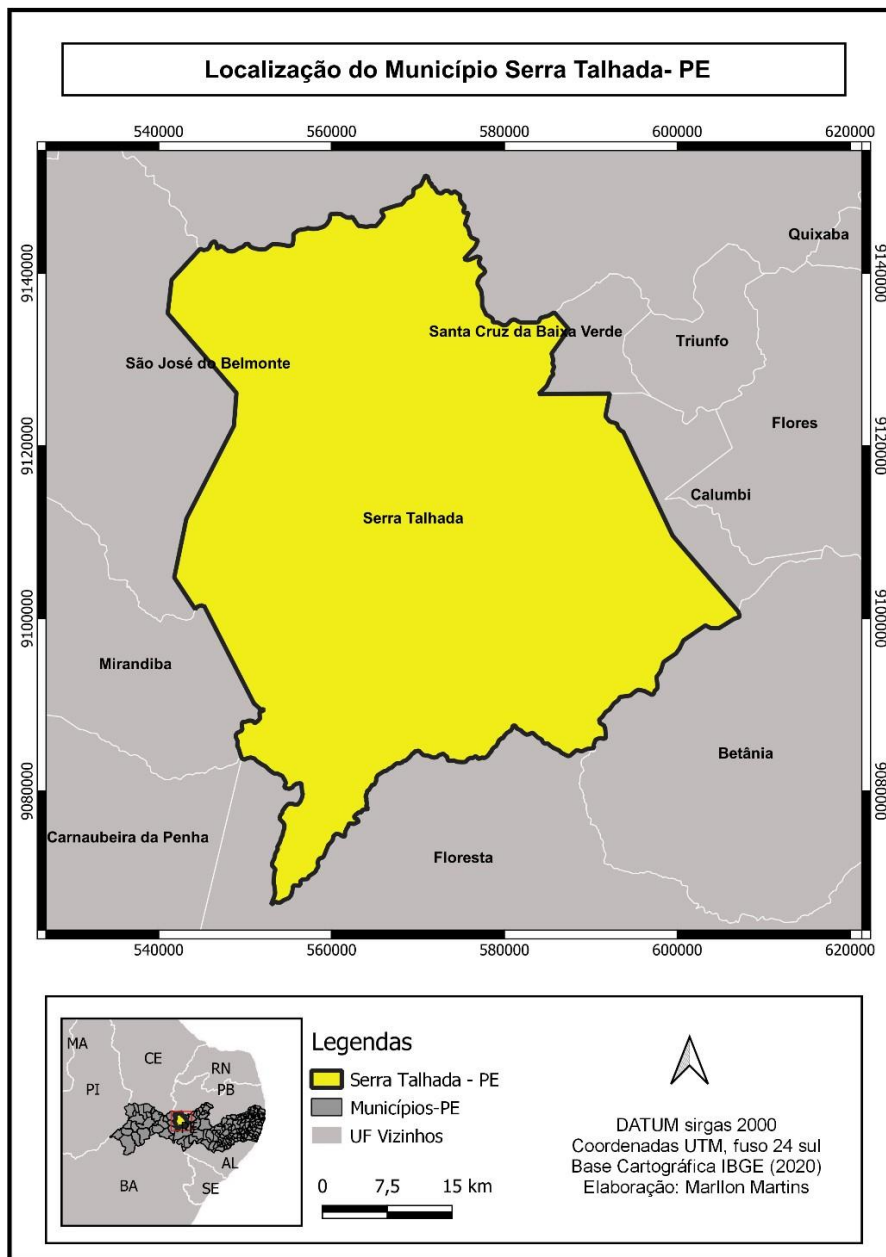
3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Solos avaliados

As amostras dos solos foram coletadas no município de Serra Talhada, no sertão de Pernambuco (Latitude: 7°56'20" S; Longitude: 38°17'31" O), microrregião do Vale do Pajeú, Mesorregião do Sertão Pernambucano. O clima da região classificado como BSw^h, com 24,8°C de temperatura média do ar anual, 642,1 mm de precipitação pluvial média anual, 62,5% de umidade relativa do ar (SILVA et al., 2015).

Em duas áreas distintas, A coleta do solo1 (S1): 7°99'60''S, 38°29'74''O e a coleta do solo 2 (S2): 7°98'36''S, 38°31'88''O, ambos solos com problemas de salinidade e sodicidade. As amostras de solo foram coletadas no horizonte superficial (0- 30cm), que foram conduzidas para a Universidade Federal Rural de Pernambuco. As amostras foram secas ao ar, destorroadas e passadas em peneira com malha de 5 mm para a montagem do experimento, e em seguida passadas em peneiras com malha de 2 mm para a realização das análises de caracterização química e física.

Figura 1. Mapa da localização do Município Serra Talhada- PE



3.2 Caracterização química

Na caracterização química dos solos (Tabela 1). As amostras foram passadas em peneira com malha de 2 mm e pesadas em balança analítica para a realização das análises de caracterização química foram realizadas: as análises de pH do solo em água (1:2,5); cátions trocáveis (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^{+} e K^{+}) a pH 7 por extração com acetato de amônio (USSL Staff, 1954), sendo o Ca^{2+} e o Mg^{2+} dosados por espectrometria de absorção atômica e o Na^{+} e K^{+} dosados por fotometria de chama; a capacidade de troca de cátions (CTC) foi realizada pelo método do acetato de

sódio/acetato de amônio, calculando-se a percentagem de sódio trocável (PST) dos solos (USSL Staff, 1954).

No extrato da pasta foram realizadas análises de pH, condutividade elétrica (CE), cátions solúveis (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ e K^+) e calculada a Relação de Adsorção de Sódio (RAS), conforme Tabela 2.

Tabela 1. Na caracterização atributos químicos dos cátions trocáveis das amostras dos solos

| pH | $\text{Ca}^{2+}\text{Mg}^{2+}$ | K^+ | Na^+CTC^1 | PST² |
|------------------|--|--------------------------------|---|------------------------|
| H ₂ O | cmolc Kg ⁻¹ | | | % |
| S19,30 | 3,831,56 | 0,17 | 4,4511,05 | 40,30 |
| S29,21 | 6,091,77 | 0,68 | 7,2115,87 | 45,47 |

¹ Capacidade de troca de cátions; ² Percentagem de sódio trocável

Tabela 2. Na caracterização atributos químicos do extrato de saturação das amostras dos solos

| pHes | CE¹ | Ca^{2+} | Mg^{2+} | K^+ | Na^+ | RAS² | |
|------------------|-----------------------|------------------------------------|------------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|------------------------|-------|
| H ₂ O | dS m ⁻¹ | | | | mmolc L ⁻¹ | | |
| S1 | 8,23 | 33,28 | 12,1 | 7,2 | 0,6 | 68 | 21,83 |
| S2 | 8,35 | 39,65 | 11,8 | 9,5 | 1,7 | 83 | 25,35 |

¹Condutividade elétrica; ²Relação de adsorção de sódio.

3.3 Caracterização física dos solos

Na caracterização física dos solos (Tabela 3), foram determinadas: a granulometria pelo método da pipeta; a argila dispersa em água; a densidade do solo, pelo método da proveta; a densidade das partículas, pelo método do balão volumétrico; a porosidade total, calculada com os dados da densidade do solo e densidade de partículas (EMBRAPA, 2017).

A capacidade de pote (CP) em vaso foi determinada pelo método gravimétrico, com três repetições para cada solo, os solos foram pesados na balança e colocados em recipiente com água e foram umedecidos por 12 horas, por capilaridade até a saturação do solo, em seguida coberto com o plástico deixando drenar livremente por

um período de 72 horas.

Tabela 3. Na caracterização atributos físicos das amostras dos solos

| Composição granulométrica | | | | | | | |
|---------------------------|-------|-------|--------|------------------|--|----------------------|-----------------|
| | Areia | Silte | Argila | ADA ¹ | Ds ² Dp ³ g cm ⁻³ | PT ⁴ % | Textura |
| | g kg | | | | | | |
| S1 | 543 | 221 | 236 | 171 | 1,342,49 | 46 | Franco arenoso |
| S2 | 220 | 389 | 391 | 290 | 1,212,70 | 55 | Franco Argiloso |

¹ Argila dispersa em água; ² Densidade do solo; ³ Densidade de partículas; ⁴ Porosidade total.

3.4 Condicionadores dos solos salino-sódicos

O condicionamento dos dois solos foi feito com a adição de enxofre elementar inoculado com *Acidithiobacillus thiooxidans* em dose determinada através do cálculo utilizado na determinação da quantidade necessária da dose teórica: $Dt = [(PSTi - PSTf) \times CTC \times PE \times h \times d]/100$ para diminuir o PST para 10%, equivalente 2,15t ha⁻¹ para S1; 3,26t ha⁻¹ para o solo S2. No tratamento de correção química com aplicação de gesso, sendo a necessidade de aplicação do corretivo calculada pela necessidade: $NG = [(PSTi - PSTf) \times CTC \times 86 \times h \times d]/100$, para diminuir o PST para 10%, equivalente 11,5t ha⁻¹ para S1; 17,5 t ha⁻¹ para o solo S2, No tratamento de correção química com aplicação de gesso mais enxofre elementar inoculado com *Acidithiobacillus thiooxidans*, equivalente 7,75t ha⁻¹ (gesso DR 50%) + 1t ha⁻¹ (enxofre elementar inoculado com *Acidithiobacillus thiooxidans DR 50%*) para S1; 8,75t ha⁻¹ (gesso DR 50%) + 1,63t ha⁻¹ (enxofre elementar inoculado com *Acidithiobacillus thiooxidans DR 50%*) para o solo S2. sendo a necessidade de aplicação do corretivo calculada pela necessidade a partir da análise de caracterização dos solos tomada antes da montagem do experimento.

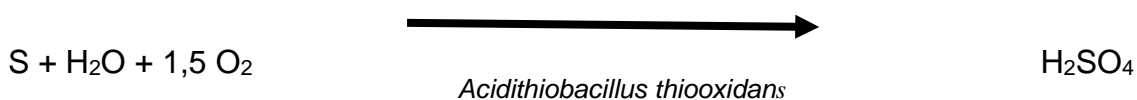
O Tratamento com o enxofre elementar com adição da bactéria. A bactéria *Acidithiobacillus thiooxidans* foi colocada para crescer em meio líquido 9K (Tabela 4), específico para bactérias oxidantes de enxofre do gênero (*Acidithiobacillus*) (GARCIA JUNIOR; BIGHAM; TUOVINEM., 2007).

Tabela 4. Meio para isolamento de *Acidithiobacillus thiooxidans*

| Reagentes | Quantidade (g) |
|--|------------------------|
| (NH₄)₂ SO₄ | 3,0 |
| KCl | 0,1 |
| K₂HPO₄ | 0,5 |
| MgSO₄ 7. H₂O | 0,5 |
| Ca (NO₃)₂ 4H₂O | 0,01 |
| H₂SO₄ (10N) | 1 (mL) |
| H₂O destilada | Completar para 1.000mL |

Os ensaios foram realizados em Erlenmeyer (2L). Os reagentes foram pesados na balança analítica e transferidos para o Erlenmeyer. O pH do meio 9K foi corrigido para 1,8 e levado para autoclavar por 30 minutos para a esterilização do meio. Foi colocado 10g para cada litro do meio 9k feito de enxofre sublimado em tubos de Falcon de 50mL e autoclavado. Adicionar 1g de enxofre sublimado para cada 100 mL de meio 9K. Posteriormente levado para a capela de fluxo laminar para adicionar a bactéria, o enxofre elementar no meio 9K e evitar a contaminação, o Erlenmeyer foi levado para a mesa agitadora. Agitar por 15 dias. Após os 15 dias o pH do meio 9k foi verificado e ocorreu a diminuição do pH do meio (<1,8) foi verificado o crescimento da bactéria.

O enxofre elementar foi inoculado com *Acidithiobacillus thiooxidans*, de acordo com a metodologia descrita por Stamford et al. (2007) e Lima et al. (2010), na produção de ácido sulfúrico produzido metabolicamente de acordo com a seguinte equação:



3.5 Tratamentos e delineamento experimental

O experimento foi conduzido no esquema fatorial 2x4 em quatro tempos, no delineamento em blocos com três repetições. Dois solos salino-sódicos e quatro tratamentos:

- 1) adição de enxofre na inoculado com *Acidithiobacillus thiooxidans* (100%);
- 2) aplicação de gesso (NG100%);
- 3) 50% enxofre elementar com *Acidithiobacillus thiooxidans*+50%gesso (NG50%);

4) controle absoluto (sem condicionador).

Os vasos com capacidade de 8 kg foram colocados 5 kg de solo por vaso. Após aplicação dos condicionantes foram incubados ao 0, 15, 30 e 45 dias, mantendo o solo sempre próximo de 70% da capacidade máxima de retenção de umidade. Totalizando 96 unidades experimentais

3.6 Determinações do solo e do extrato lixiviado

Para cada tratamento foram coletadas amostras de solo, que foram secas ao ar, destorroadas, homogeneizadas e peneiradas em malha de 2 mm. O solo foi pesado para as seguintes análises: pH do solo em água (1:2,5); cátions trocáveis (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ e K^+) a pH 7 por extração com acetato de amônio (USSL Staff, 1954), sendo o Ca^{2+} e o Mg^{2+} dosados por espectrometria de absorção atômica e o Na^+ e K^+ dosados por fotometria de chama; a capacidade de troca de cátions (CTC) foi realizada pelo método do acetato de sódio/acetato de amônio, calculando-se a percentagem de sódio trocável (PST) dos tratamentos (USSL Staff, 1954).

Para Determinação do extrato da pasta saturada a de 400g de do solo e adição maneira gradual, água destilada, homogeneizando com uma espátula até atingir o ponto de saturação. Esse ponto ideal é quando a superfície do solo apresenta um aspecto brilhante e deixado no recipiente fechado em repouso de um dia para o outro, posteriormente levado para extração a vácuo. No extrato da pasta saturada foi realizadas as análises do pHes, condutividade elétrica (CE), cátions solúveis (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ e K^+), sendo o Ca^{2+} e o Mg^{2+} dosados por espectrometria de absorção atômica e o Na^+ e K^+ por fotometria de chama. Após obtenção dos valores de cálcio, magnésio e sódio solúveis foi calculada a relação de adsorção de sódio (RAS) (USSL Staff, 1954).

A lâmina de lixiviação que corresponde a 3 vezes o valor do poro do solo. Para cada tratamento foi coletado o extrato do lixiviado dos diferentes períodos de incubação (0;15; 30 e 45 dias). Do material lixiviado coletado foi realizado as análises de pH, condutividade elétrica (CE), cátions solúveis (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ e K^+) sendo o Ca^{2+} e o Mg^{2+} dosados por espectrometria de absorção atômica e o Na^+ e K^+ dosados por fotometria de chama.

3.7 Análise estatística

Os dados obtidos foram analisados pelo programa estatístico SAS Institute (2011). As variáveis avaliadas foram submetidas à análise da variância em função dos fatores solos, tratamento e tempo, considerando-se os que foram significativos. As médias das variáveis significativas foram submetidas ao teste de Tukey ($P < 0,05$).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Todas as variáveis analisadas dos solos com os condicionadores sofreram variação ao longo dos períodos de incubação (0,15, 30 e 45 dias) em relação à condição inicial dos dois solos salino-sódicos utilizados. Ao final do experimento foram observadas mudanças favoráveis nos atributos químicos dos solos e no extrato do lixiviado.

4.1 Atributos químicos do solo

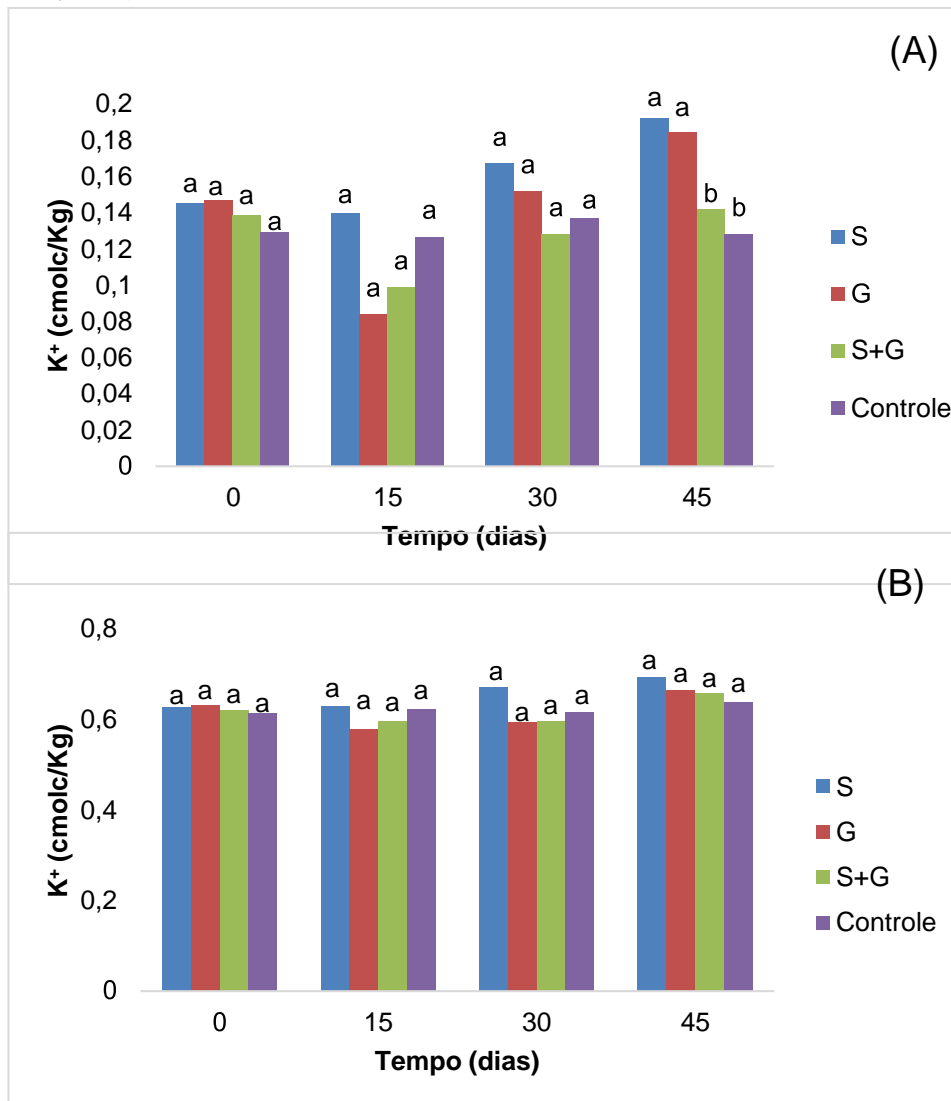
4.1.1 Trocável

No início do experimento (0 dias) entre os cátions trocáveis foi observado que o potássio apresentou o menor teor quando comparados com os demais cátions. O valor médio do K^+ trocável em função dos tratamentos avaliados em quatro tempos de incubação (Figura 2). Verificou-se que não houve grande alteração em função do tempo, que pode estar relacionado com que os condicionadores não fornecerem o nutriente para o solo. Entre o primeiro e a terceiro tempo de incubação (0 e 30 dias) para o solo com textura arenoso (S1) não houve diferença significativa entre os tratamentos que receberam os condicionadores e a testemunha (Figura 2A).

Aos 45 dias de incubação houve diferença significativa dos tratamentos condicionados com gesso e dos tratamentos com enxofre com adição de *Acidithiobacillus thiooxidans* quando comparados com a testemunha e o tratamento condicionado com 50% enxofre elementar com adição de *Acidithiobacillus thiooxidans*+ 50% gesso que não diferenciaram entre si. Com a redução do Na^+ trocável e aumento do Ca^{2+} , com isso aumentou a floculação do solo possibilitou acréscimo do potássio no complexo de troca e devido a diminuição da lixiviação do mesmo na solução do solo com o aumento de tempo de incubação, mesmo com o

aumento na concentração do potássio, o teor de potássio continuou com a menor concentração no complexo sortivo em relação ao cálcio, sódio e magnésio. Entre o primeiro e a último tempo de incubação (0 e 45 dias) para o solo com textura argilosa (S2) não houve diferença significativa entre os tratamentos que receberam os condicionadores e a testemunha (Figura 2B).

Figura 2. Valores do K^+ Trocável do solo 1 (A); solo2 (B), em função dos tratamentos S: enxofre elementar (com *Acidithiobacillus thiooxidans*), G: gesso, S +G, gesso 50% da dose e enxofre (com *Acidithiobacillus thiooxidans*) 50% da dose e o controle absoluto (solo sem condicionador) e tempos de incubação (0,15,30 e 45 dias).CV: 11,24%. Colunas com as letras minúsculas diferentes no mesmo tempo de incubação mostram diferença significativa pelo teste de Tukey 5% de probabilidade

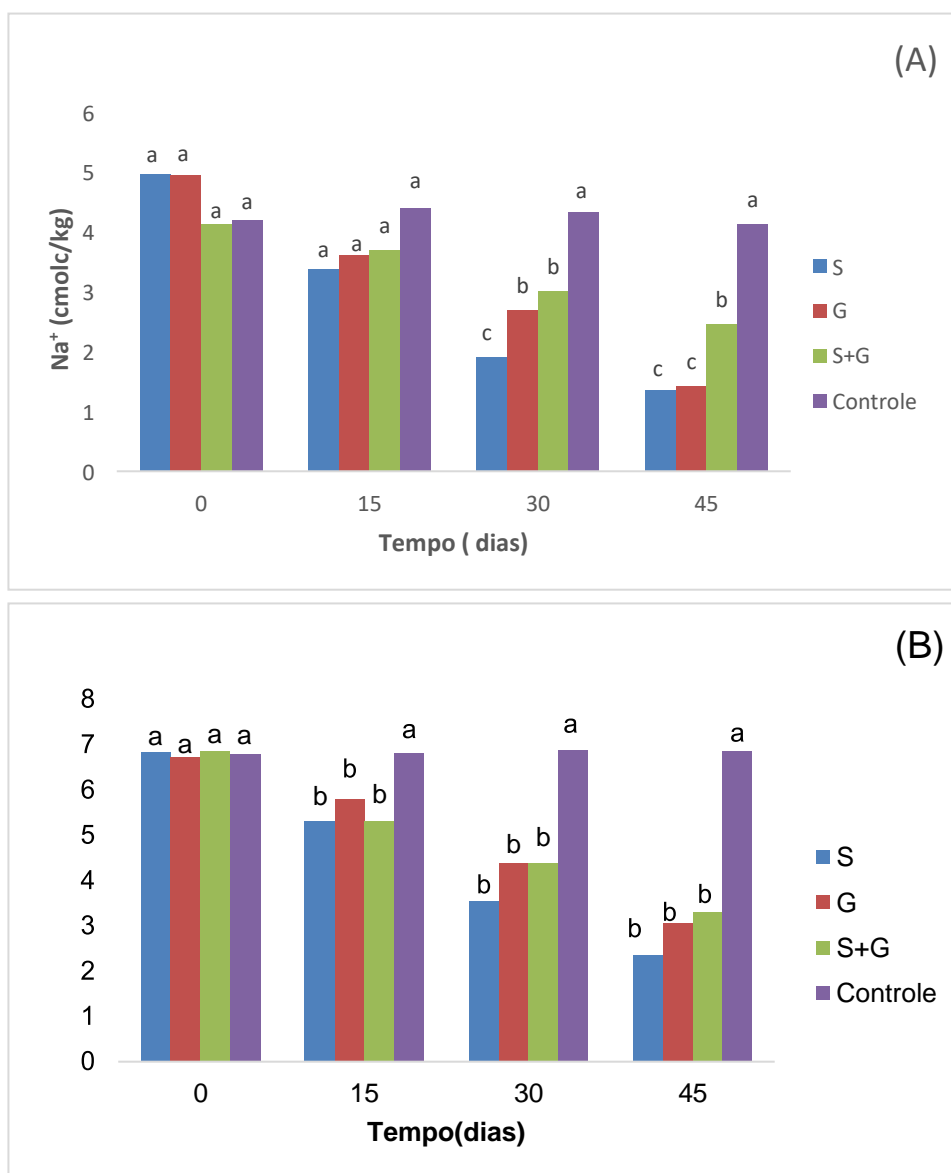


No início do experimento (0 dias) observou-se o predomínio do sódio trocável em relação ao cálcio, magnésio e potássio trocável, o sódio possui capacidade de dispersão quanto mais concentração de sódio no solo mais susceptível ao efeito dispersivo do sódio. No primeiro tempo de incubação (0 dias) que não houve diferença significativas entre os tratamentos com os condicionadores e a testemunha. No segundo tempo de incubação (15 dias), os condicionadores diminuíram um pouco o valor de sódio trocável, mas não diferiram significativamente da testemunha no solo arenoso (S1) (Figura 3A). Aos 15 dias foi verificado para o solo com textura argilosa (S2) houve diferença significativa entre os tratamentos que receberam os condicionadores e a testemunha, os tratamentos com os condicionadores reduziram a variável (Figura 2B).

Aos 30 dias de incubação houve diferença significativa entre os tratamentos com os condicionadores com a testemunha. O tratamento com o enxofre com adição de *Acidithiobacillus thiooxidans*, exerceu efeito positivo na redução do valor de Na^+ trocável, sendo mais eficiente do que os tratamentos com o 50% de enxofre elementar com adição de *Acidithiobacillus thiooxidans*+50% gesso e o tratamento gesso no solo arenoso (S1). Devido a maior atuação da reação ácida provocada pelo enxofre elementar com adição de *Acidithiobacillus thiooxidans*. Sá et al. (2013) observou comportamento semelhante em que o enxofre foi convertido em ácido sulfúrico na recuperação de solos salino-sódicos. No solo Argiloso (S2) houve diferença significativa entre os tratamentos com os condicionadores com a testemunha, mostrando que os condicionadores e tempo de incubação aos 30 dias influenciaram positivamente na redução da concentração do sódio trocável, mas não houve diferença significativa entre os tratamentos com os condicionantes entre si.

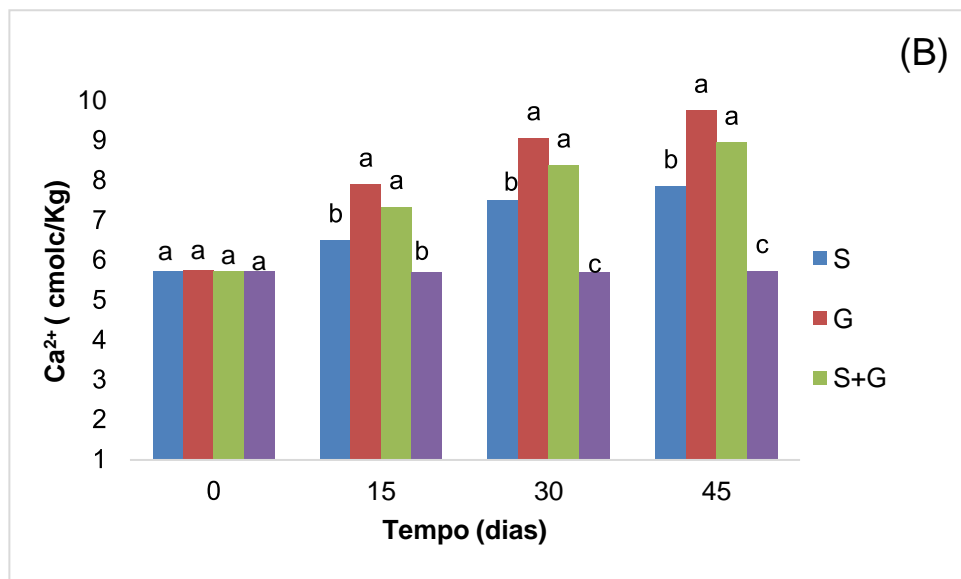
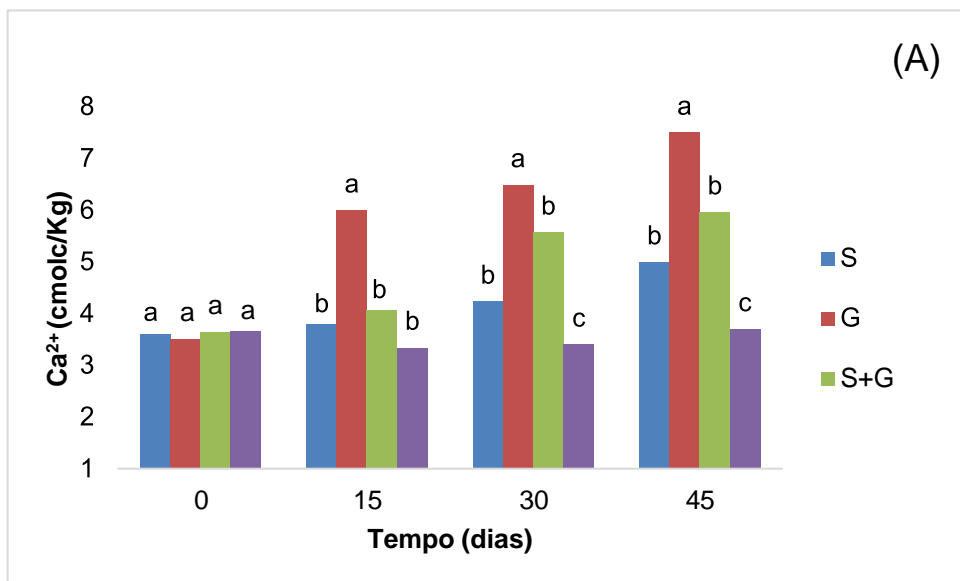
No último período de incubação (45 dias) Os teores dos cátions trocáveis variaram como o aumento do tempo de incubação, observando-se diminuição do sódio trocável nos tratamentos com os condicionadores, especialmente nos tratamentos com Enxofre elementar com adição de *Acidithiobacillus thiooxidans* e gesso não diferenciaram entre si, mas foram os mais que reduziram o teor do sódio. A diminuição dos teores de Na^+ no complexo sortivo pela aplicação do gesso, resultados semelhantes foram constatados em outros estudos (LEITE et al., 2007; BARROS et al., 2009; SOUSA et al., 2012).

Figura 3. Valores do Na⁺ Trocável do solo 1 (A); solo2 (B), em função dos tratamentos S: enxofre elementar (com *Acidithiobacillus thiooxidans*), G: gesso, S +G: gesso 50% da dose e enxofre (com *Acidithiobacillus thiooxidans*) 50% da dose e controle absoluto (solo sem condicionador) e tempo de incubação (0,15,30 e 45 dias). CV: 11,44%. Colunas com as letras minúsculas diferentes no mesmo tempo de incubação mostram diferença significativa pelo teste de Tukey 5% de probabilidade



No primeiro dia de incubação (0 dias) não houve diferença significativa dos condicionantes entre a testemunha, a concentração de cálcio inalterada. No segundo tempo de incubação (15 dias) de incubação o tratamento com gesso diferenciou significativamente do tratamento com enxofre elementar com *Acidithiobacillus thiooxidans*, o tratamento 50% de enxofre elementar com *Acidithiobacillus thiooxidans* + 50% gesso e da testemunha. O condicionante gesso aumentou a concentração de Ca^{2+} trocável, resultado semelhantes observado em que o Ca^{2+} substitui o Na^{+} no complexo de sortivo elevando a concentração do Ca^{2+} trocável (SOUSA et al., 2012). No terceiro e no último tempo de incubação (30 e 45 dias), os tratamentos condicionadores diferenciaram significativamente da testemunha. O tratamento com gesso foi o mais efetivo no aumento do teor de Ca^{2+} trocável, em seguida pelo o tratamento com o condicionante 50% enxofre elementar com *Acidithiobacillus thiooxidans*+50%gesso, ou seja, promoveram aumento nos teores de cálcio em relação aos demais cátions, com a diminuição do sódio trocável, que deram resposta ao antagonismo do Na^{+} trocável, diminuindo a participação do mesmo no complexo sortivo do solo. O tratamento com enxofre com adição.

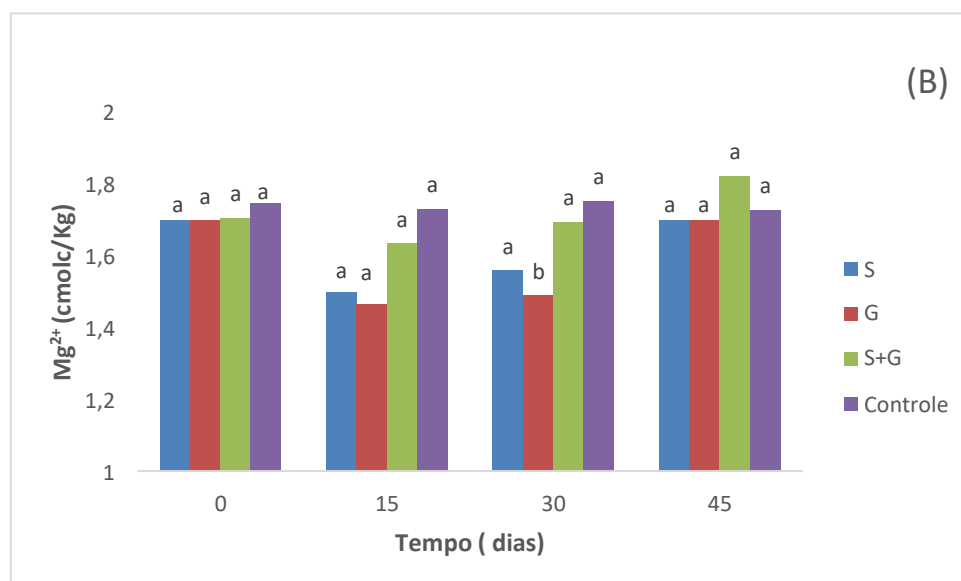
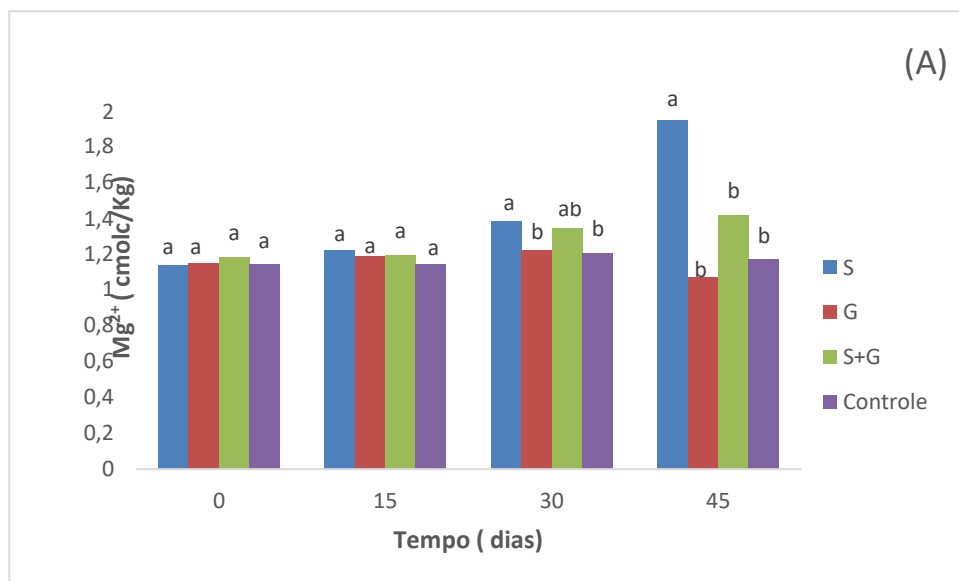
Figura 4. Valores do Ca^{2+} Trocável do solo 1 (A); solo2 (B), em função dos tratamentos S: enxofre elementar (com *Acidithiobacillus thiooxidans*), G: gesso, S +G: enxofre (com *Acidithiobacillus thiooxidans*) 50% da dose e gesso 50% da dose, controle absoluto (solo sem condicionador) e tempo de incubação (0,15,30e 45 dias). CV: 15,02%. Colunas com as letras minúsculas diferentes no mesmo tempo de incubação mostram diferença significativa pelo teste de Tukey 5% de probabilidade



Entre o primeiro e a segundo tempo de incubação (0 e 15 dias) para o solo com textura arenoso (S1) não houve diferença significativa entre os tratamentos que receberam os condicionadores e a testemunha. No solo arenoso (S1), o maior teor de Mg^{2+} trocável (Figura 5A), o tratamento enxofre elementar com *Acidithiobacillus thiooxidans* promoveu elevação do teor de magnésio trocável, quando comparado ao gesso e o tratamento com 50% enxofre elementar com *Acidithiobacillus thiooxidans* + 50% de gesso

No solo argiloso (S2), o maior teor de Mg^{2+} trocável (Figura 18B) foi encontrado no tratamento com 50% enxofre elementar com *Acidithiobacillus thiooxidans* + 50% de gesso testemunha.com o aumento do tempo de incubação os tratamentos com aplicação do gesso e com 50% enxofre elementar com *Acidithiobacillus thiooxidans* + 50% gesso, ou seja, o uso desses condicionadores promoveram o deslocamento Mg^{2+} trocável do complexo sortivo para solução do solo sendo substituído pelo Ca^{2+} trocável, conseqüentemente, Maior concentração de cálcio trocável em relação ao Magnésio trocável.

Figura 5. Valores do Mg^{2+} Trocável do solo 1 (A); solo2 (B), em função dos tratamentos S: enxofre elementar (com *Acidithiobacillus thiooxidans*), G: gesso, S +G: enxofre (com *Acidithiobacillus thiooxidans*) 50% da dose e gesso 50% da dose, controle absoluto (solo sem condicionador) e tempos de incubação (0,15,30 e 45 dias). CV: 17,64%. Colunas com as letras minúsculas diferentes no mesmo tempo de incubação mostram diferença significativa pelo teste de Tukey 5% de probabilidade

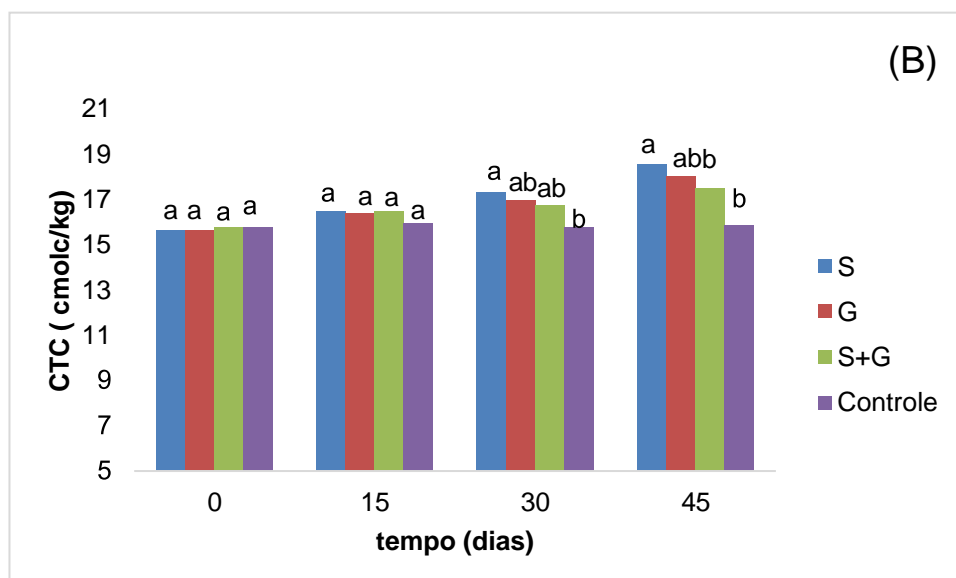
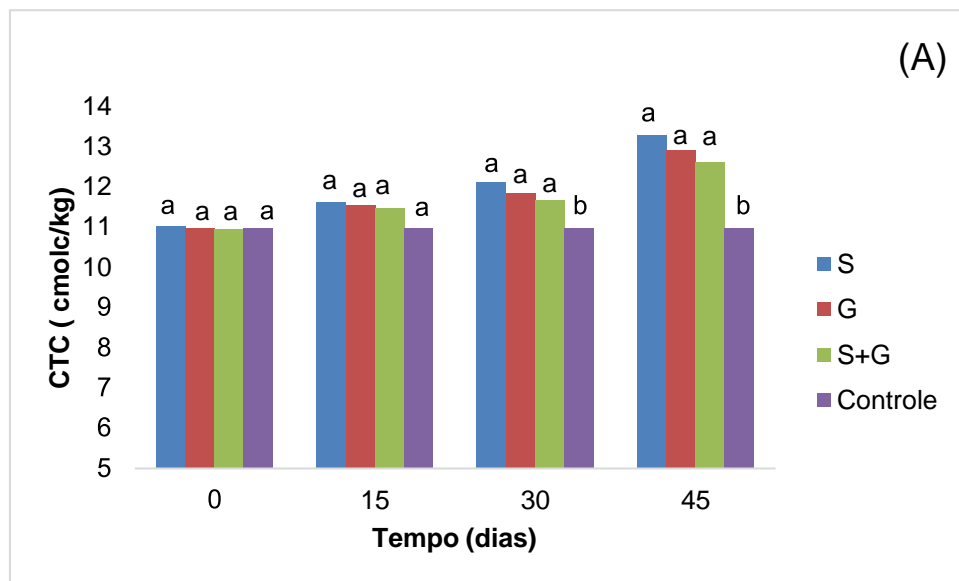


Entre o primeiro e o segundo tempo de incubação (0 e 15 dias) verificou-se que não houve diferença significativa entre os tratamentos que receberam os

condicionadores e a testemunha (Figura 6). A capacidade de troca de cátions (CTC) permaneceu inalterada, apresentando os valores de 10,94 e 15,78 cmolc Kg^{-1} , respectivamente, solo arenoso (S1) e para o solo argiloso (S2).

No terceiro tempo e no último de incubação (30 e 45 dias) os tratamentos com os condicionadores diferiram estatisticamente da testemunha. A capacidade de troca de cátions (CTC) de ambos os solos aumentaram com os tratamentos que receberam condicionadores. Esse acréscimo da CTC deve-se pelo aumento de cargas negativas no solo gerada pelo aumento das concentrações de Cálcio e magnésio e diminuição do sódio. Resultados semelhantes foram observados por Sousa et al. (2012) e Sá et al. (2013).

Figura 6. Valores da capacidade de troca de cátions (CTC) do solo1 (A); do solo2 (B), em função dos tratamentos S: enxofre elementar (com *Acidithiobacillus thiooxidans*); G: gesso, S +G: enxofre (com *Acidithiobacillus thiooxidans*) 50% adose e gesso 50% da dose, controle absoluto (solo sem condicionador) e tempo de incubação (0,15,30 e 45 dias). CV: 11,23%. Colunas com as letras minúsculas diferentes no mesmo tempo de incubação mostram diferença significativa pelo teste de Tukey 5% de probabilidade



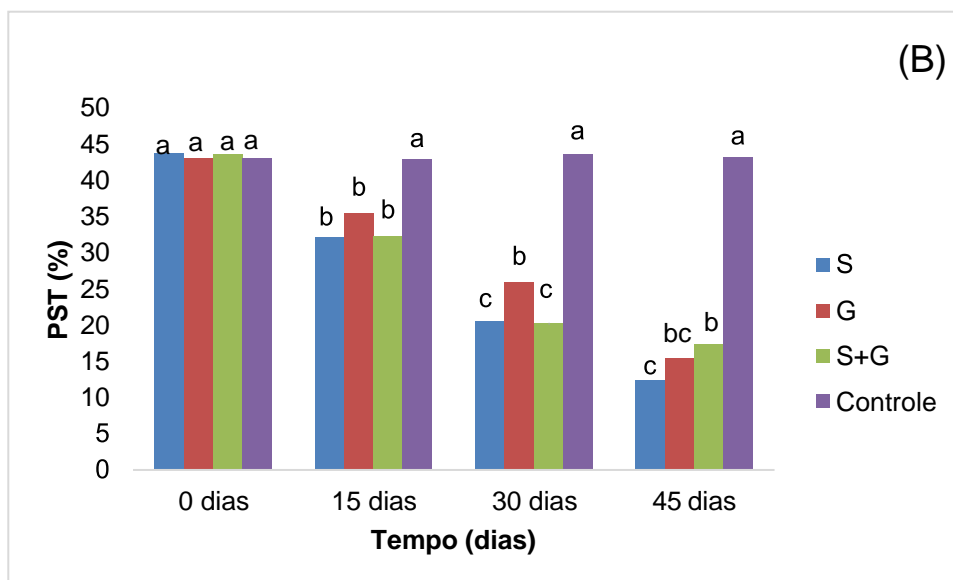
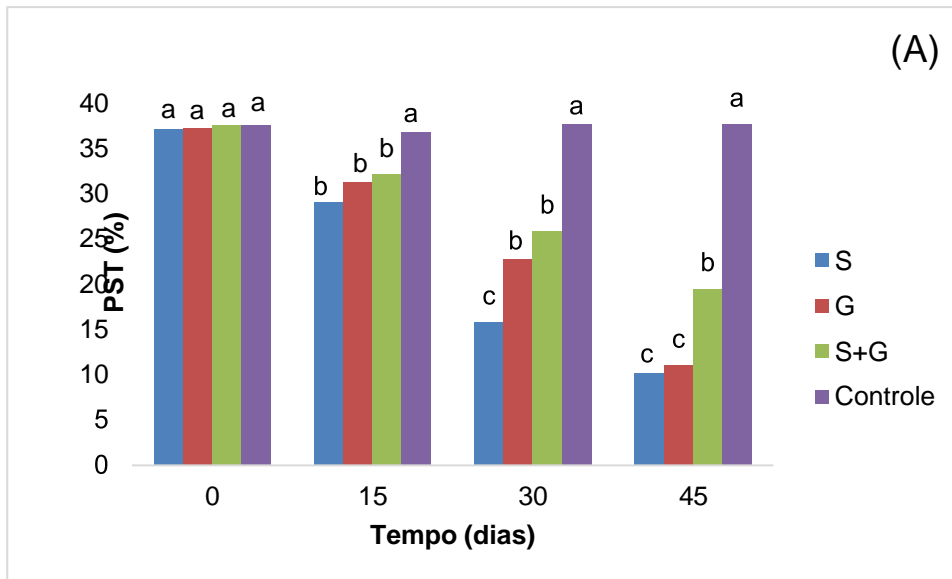
No primeiro tempo de incubação (0dias) os tratamentos com os condicionadores não diferenciaram estatisticamente da testemunha. Aos 15 e 30 dias de incubação, os tratamentos com os condicionadores houve diferença significativa da testemunha, verificou-se reduções nos valores de PST, no entanto, com valores de PST acima de 15% classificando os solos como sódicos, segundo USSL Staff (1954).

Para PST houve redução dos valores (Figura 7) em relação a condição inicial de ambos os solos pela adição dos condicionantes. Observou-se o efeito da adição dos condicionantes em relação ao tratamento testemunha, especialmente com o enxofre com adição de *Acidithiobacillus thiooxidans*, que mostrou maior redução, valores menores do que o valor limite de (PST >15%) para classificar um solo como sódico.

A diminuição da PST é devido a diminuição dos teores de Na^+ trocável ao longo tempo de incubação, ao mesmo tempo, observou-se a elevação dos teores de Ca^{2+} Mg^{2+} trocáveis no complexo sortivo do solo, com isso, aumento do equilíbrio das concentrações desses elementos.

Os tratamentos com 50% enxofre elementar (com *Acidithiobacillus thiooxidans*) +50% gesso exerceu efeito positivo na redução da PST de ambos os solos, entretanto, os valores ficaram acima do valor limite de (PST >15%) para classificar um solo como sódico, os tratamentos com 50% enxofre elementar com *Acidithiobacillus thiooxidans*+50% gesso aos 45 dias de incubação não corrigiram a sodicidade de ambos os solos.

Figura 7. Percentagem de sódio trocável (PST) do solo1 (A); do solo 2 (B), em função dos tratamentos S: enxofre elementar (com *Acidithiobacillus thiooxidans*);G: gesso, S +G: enxofre (com *Acidithiobacillus thiooxidans*) 50% da dose e gesso50% da dose, controle absoluto (solo sem condicionador) e tempo de incubação(0,15,30 e 45 dias). CV: 7,21%. Colunas com as letras minúsculas diferentes no mesmo tempo de incubação mostram diferença significativa pelo teste de Tukey5% de probabilidade



4.1.2 pH do solo, pHes e solúveis.

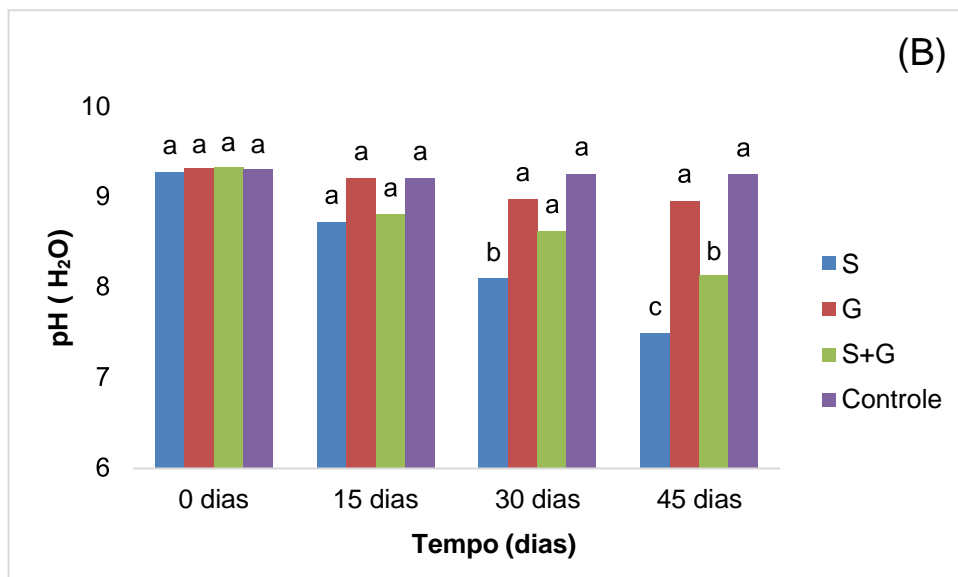
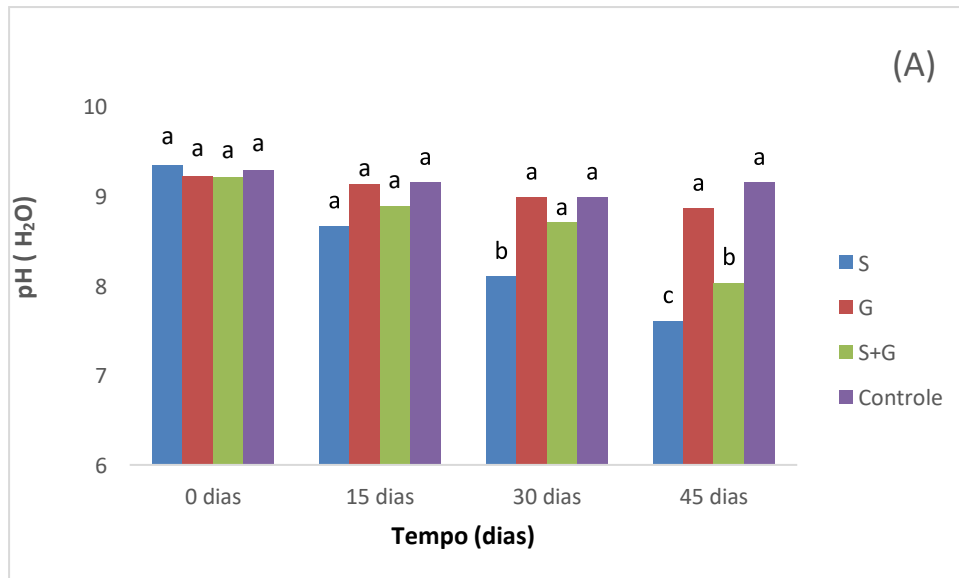
No Solo com excesso de sais, o pH pode atingir valor próximo da alcalinidade, indicando grande predominância de íons OH^- na solução do solo. Os valores médios encontrados no início do experimento para o pH de ambos solos foram alcalinos.

No primeiro e no segundo tempo de incubação (0 dias e 15 dias) não houve diferença significativa entre os tratamentos com os condicionadores e a testemunha, devido a pouco tempo de incubação o pH ficando acima de 8,6 para ambos os solos.

No terceiro tempo de incubação (30 dias) o condicionador enxofre elementar com *Acidithiobacillus thiooxidans* diferenciou estatisticamente dos demais tratamentos com condicionadores e da testemunha, influenciando positivamente na diminuição do pH do solo para 8,09 e 8,17, respectivamente, solo arenoso (S1) e Solo (S2) (Figura 8). O condicionador com 50% enxofre elementar com *Acidithiobacillus thiooxidans*+ 50% gesso reduziu um pouco o pH, mas não houve diferença significativa do gesso e da testemunha para ambos os solos. A diminuição do pH do solo foi provocada pelo ácido sulfúrico gerado pela oxidação biológica promovida pela bactéria oxidante (STAMFORD et al., 2007).

No primeiro ao último tempo de incubação (0 dias e 45 dias), o tratamento com gesso é interessante observar que não houve diferença significativa da testemunha ficando com valor próximo do pH inicial 9,30 e 9,21, respectivamente para o solo arenoso (S1) e solo argiloso(S2) mostrando que não há efeito positivo do gesso no pH do solo, e o pH alto pode causar indisponibilidade de alguns nutrientes para as plantas.

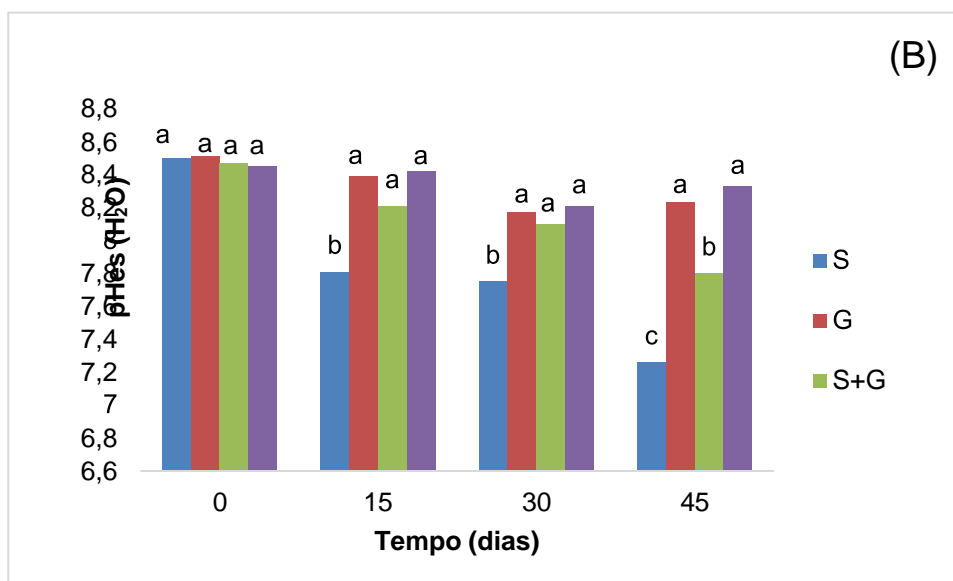
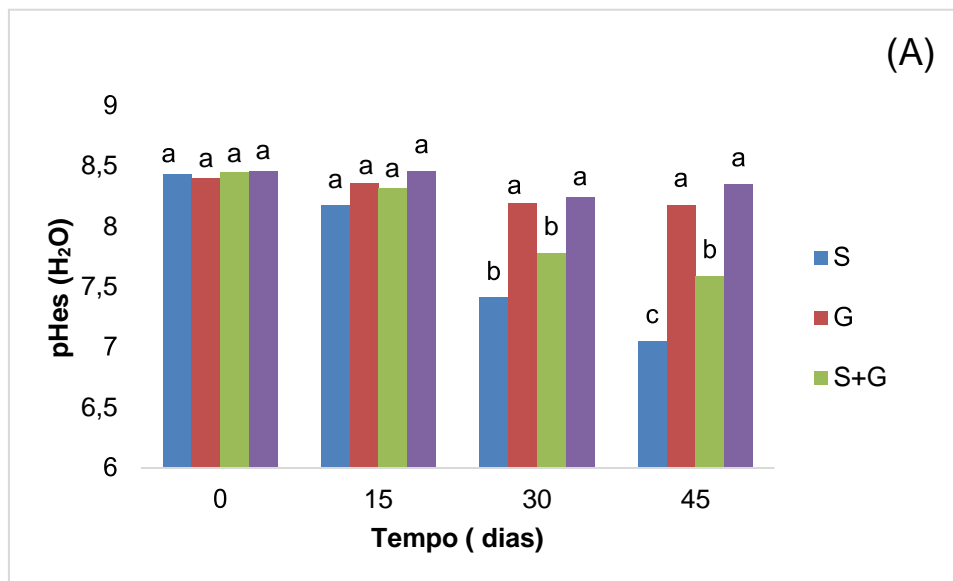
Figura 8. Valores do pH do solo 1 (A); solo2 (B), em função dos tratamentos S: enxofre elementar (com *Acidithiobacillus thiooxidans*), G: gesso, S +G: enxofre (com *Acidithiobacillus thiooxidans*) 50% da dose e gesso 50% da dose, controle absoluto (solo sem condicionador) e tempo de incubação (0,15,30 e 45 dias). CV: 1,77%. Colunas com as letras minúsculas diferentes no mesmo tempo de incubação mostram diferença significativa pelo teste de Tukey 5% de probabilidade.



No primeiro e no segundo tempo de incubação (0 dias e 15 dias) não houve diferença estatística entre os tratamentos com os condicionadores e a testemunha, devido a pouco tempo de incubação. O tratamento com enxofre elementar com *Acidithiobacillus*

No terceiro e no último tempo de incubação (30 e 45 dias) pH da pasta de saturação do solo mostrou comportamento similar ao pH do solo. O enxofre com *Acidithiobacillus* contribuiu decisivamente na diminuição do pH, nos dois solos. A diminuição do pHes (pH do extrato da pasta) foi provocada pelo ácido sulfúrico gerado pela oxidação biológica. Resultado semelhante encontrado na correção do solo salinizado com enxofre inoculado com a bactéria oxidante (STAMFORD et al., 2007). O tratamento com 50% enxofre elementar com *Acidithiobacillus thiooxidans*+ 50% gesso efeito positivo na redução do pHes da pasta saturada para ambos os solos quando comparado com o condicionador gesso e da testemunha.

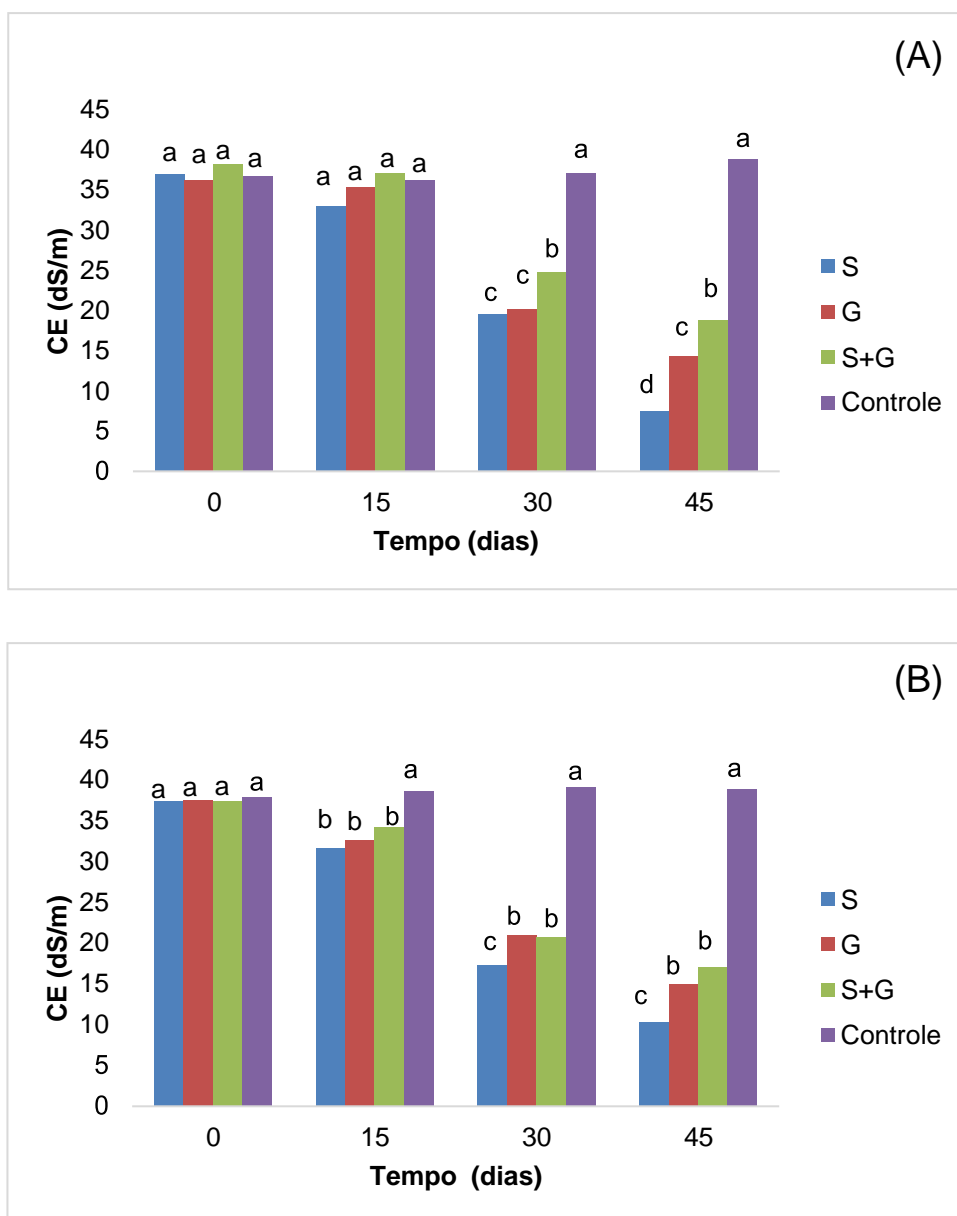
Figura 9. Valores do pHes do extrato da pasta saturada do solo 1 (A); solo2 (B), em função dos tratamentos S: enxofre elementar (com *Acidithiobacillus thiooxidans*), G: gesso, S +G: enxofre (com *Acidithiobacillus thiooxidans*) 50% da dose e gesso 50% da dose, controle absoluto (solo sem condicionador) e tempo de incubação (0,15,30e 45 dias). CV: 2,31%. Colunas com as letras minúsculas diferentes no mesmo tempo de incubação mostram diferença significativa pelo teste de Tukey 5% de probabilidade



No último tempo de incubação (45 dias), para o tratamento com enxofre verificou-se que a CEes ficou 8 dS m^{-1} no solo arenoso(S1) e para no solo argiloso (S2) CEes de 7 dS m^{-1} (Figura 10) quando comparados com o tratamento controle com valores de CEes iniciais de $36,7$ e $37,83 \text{ dS m}^{-1}$, respectivamente no arenoso (S 1) e solo argiloso(S2). Desta forma, pode-se observar a importância da aplicação deste condicionador na redução da salinidade do solo. Com aplicação de gesso, ocorreu redução na CEes com o aumento do período de incubação.

O tratamento com gesso, observou-se que a CEes ficou $14,35$ e $15,0 \text{ dS m}^{-1}$ (Figura 10), respectivamente, no solo arenoso (S1) e no solo argiloso (S2), no último período de incubação com 45 dias. O tratamento com a aplicação com gesso reduziu a condutividade elétrica de $60,9$ e $59,56\%$, respectivamente, no solo 1 e no solo 2, tomando-se como referência a condutividade elétrica inicial dos solos. Miranda et al. (2011), avaliando a influência do uso de diferentes condicionadores, verificaram redução da CE inferiores a $2,0 \text{ dS m}^{-1}$ após a aplicação e lixiviação dos sais aos 70 dias.

Figura 10. Valores de condutividade elétrica (CE) da pasta saturada do solo 1 (A); do solo 2 (B), em função dos tratamentos S: enxofre elementar (com *Acidithiobacillus thiooxidans*), G: gesso, S +G: gesso 50% da dose e enxofre (com *Acidithiobacillus thiooxidans*) 50% da dose e controle absoluto (solo sem condicionador) e tempos de incubação (0,15,30 e 45 dias). CV: 5,90%. Colunas com as letras minúsculas diferentes no mesmo tempo de incubação mostram diferença significativa pelo teste de Tukey 5% de probabilidade

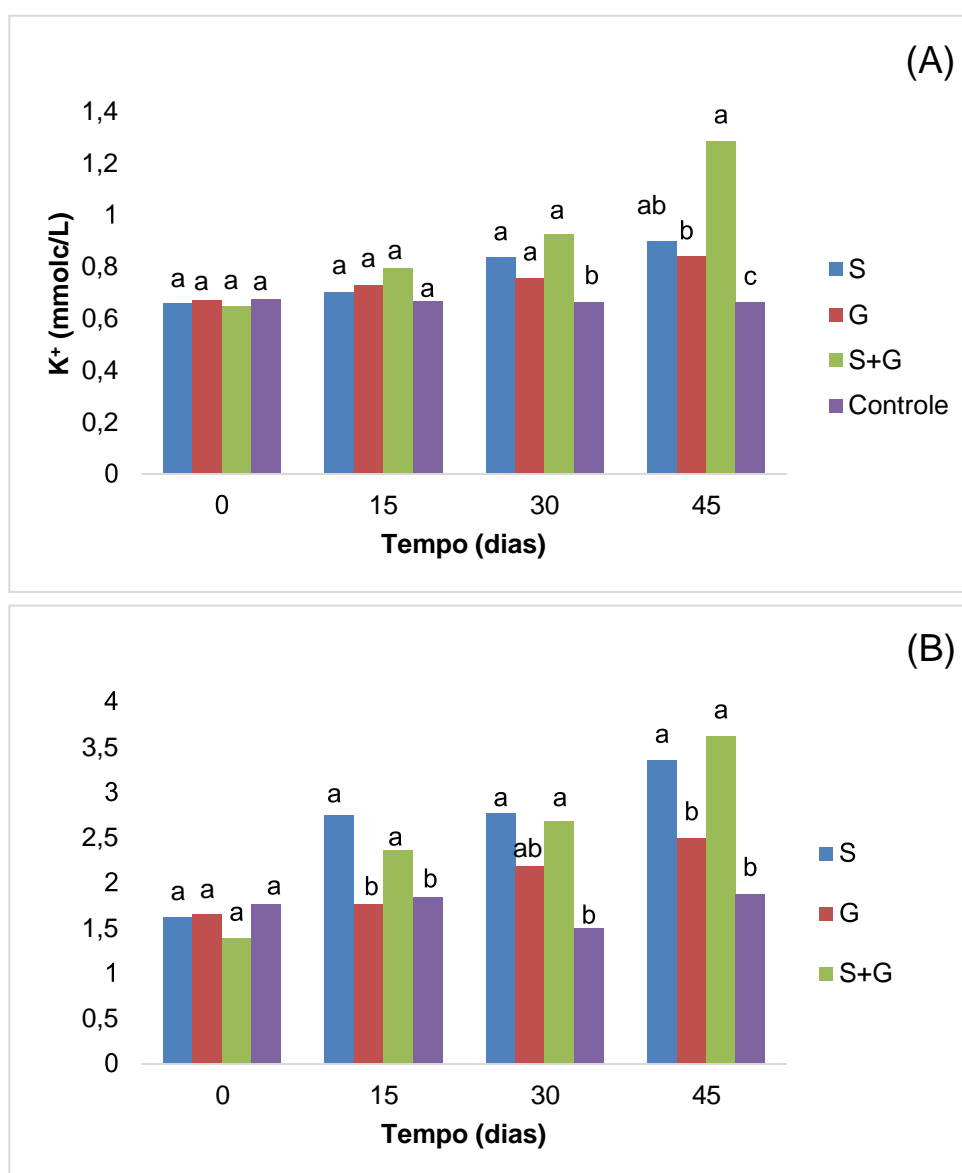


No primeiro tempo de incubação (0 dias), não houve diferença estatisticamente entre os tratamentos com os condicionadores e a testemunha, comparando-se o teor de K^+ solúvel entre os tratamentos (Figura 11) verifica-se que no solo arenoso (S1) o valor médio do teor potássio ficou próximo do valor médio da testemunha, ambos os solos apresentaram valores médios de teores k^+ bem abaixo dos teores de Ca^{2+} ; Mg^{2+} e Na^+ . Os valores de K^+ sendo superior no solo argiloso (S2), que apresenta uma maior capacidade de retenção de cátions devido maior quantidade de argila, quando comparado ao solo arenoso (S1).

Os valores baixos de K^+ solúvel refletem o equilíbrio entre os demais cátions solúveis, que são predominantes na solução do solo. Comportamento semelhante foi obtido por Santos et al. (2005) os quais afirmam que os teores de K^+ foram mais baixos do que os demais, com aumento da relação Na^+/Ca^{2+} em um solo salino-sódico.

O aumento da concentração de k^+ solúvel para os tratamentos com os condicionadores, resultado semelhante foi observado que o potássio aumenta a concentração solúvel com o transcorrer do tempo com a diminuição da concentração de sódio (FERREIRA; SILVA; RUIZ, 2016).

Figura 11. Valores de K^+ solúvel do solo 1 (A); do solo 2 (B), em função dos tratamentos S: enxofre elementar (com *Acidithiobacillus thiooxidans*), G: gesso, S +G: gesso 50% da dose e enxofre (com *Acidithiobacillus thiooxidans*) 50% da dose e controle absoluto (solo sem condicionador) e tempo de incubação (0,15,30 e 45 dias). CV: 27,34%. Colunas com as letras minúsculas diferentes no mesmo tempo de incubação mostram diferença significativa pelo teste de Tukey 5% de probabilidade.

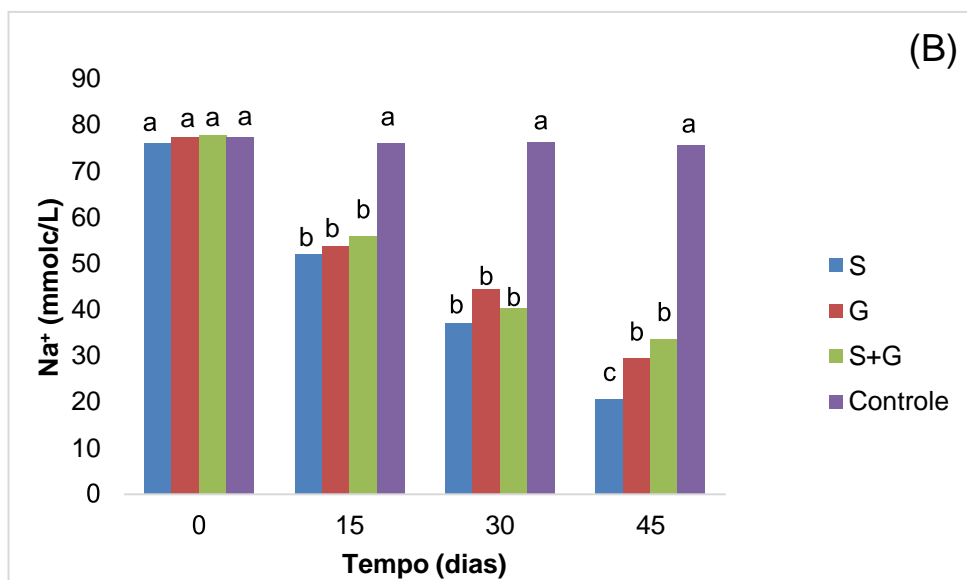
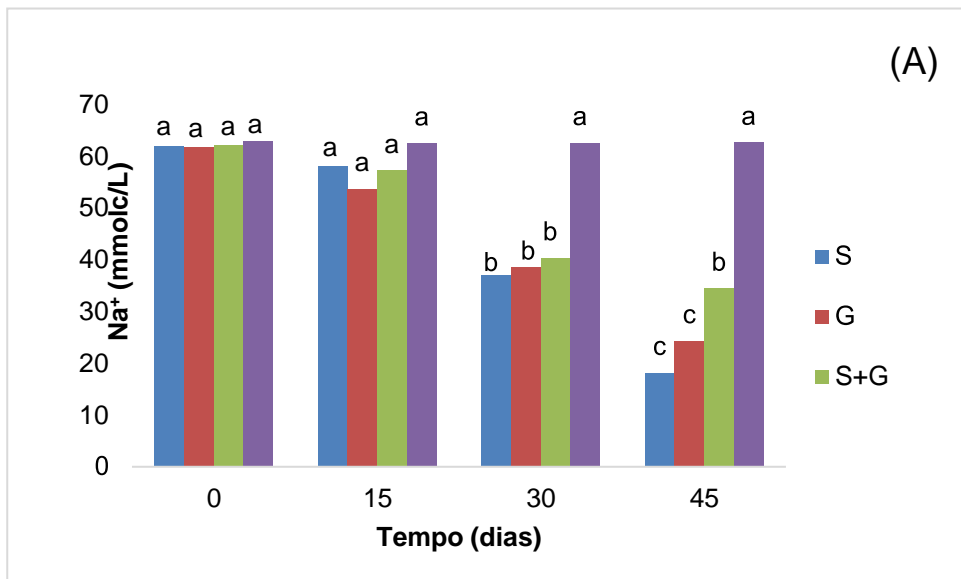


Entre os cátions solúveis avaliados no primeiro tempo de incubação (0 dias), os teores de Na^+ foram os mais elevados, com valores médios de Na^+ solúvel de 62 e 76 mmolc L^{-1} , respectivamente, solo arenoso (S1) e solo argiloso (S2) (Figura 12).

No segundo tempo de incubação (15 dias) houve diferença significativa entre os tratamentos e a testemunha para o solo argiloso (S2), o solo por apresentar mais argila ocorre maior floculação com aumento do cálcio e a diminuição do sódio. O tratamento com enxofre com adição de *Acidithiobacillus thiooxidans* forneceram ao solo sulfato e íons H^+ gerados pela oxidação biológica do enxofre, que favoreceu o deslocamento do sódio do complexo sortivo para a solução do solo reagindo com os ânions do sulfato. Assim, formou-se sulfato de sódio, que posteriormente foi removido, após a aplicação da lâmina de lixiviação. Em outros trabalhos foram observados resultados semelhantes (STAMFORD et al., 2007; SOUSA et al., 2012).

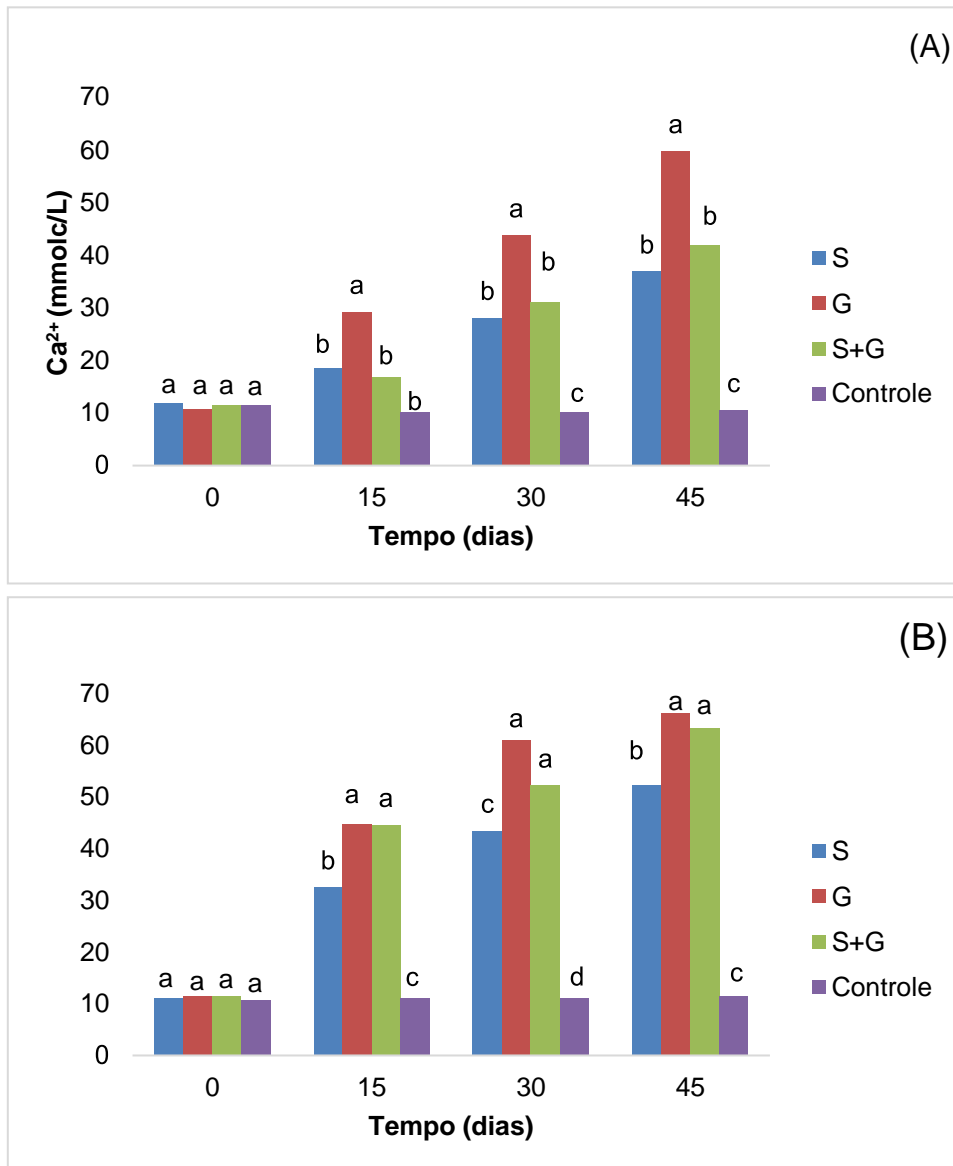
No terceiro e no último tempo de incubação (30 e 45 dias). Observou-se que o teor de sódio diminuiu com o aumento do período de incubação, em virtude da atuação dos condicionadores, principalmente, o tratamento com o condicionador enxofre com adição de *Acidithiobacillus thiooxidans* apresentou o maior efeito na redução. Os teores de sódio solúvel reduziram em 70,90; e 72,8%, após a lixiviação dos sais no solo arenoso (S1) e no solo argiloso (S2), no período de 45 dias, respectivamente. Resultado semelhante foi observado na correção do enxofre na substituição do sódio (SÁ et al., 2013)

Figura 12. Valores do Na^+ solúvel do solo 1 (A); solo2 (B), em função dos tratamentos S: enxofre elementar (com *Acidithiobacillus thiooxidans*), G: gesso, S+G gesso 50% da dose e enxofre (com *Acidithiobacillus thiooxidans*) 50% da dose e controle (solo sem condicionador) e tempos de incubação (0,15,30 e 45 dias). CV: 8,03%. Colunas com as letras minúsculas diferentes no mesmo tempo de incubação mostram diferença significativa pelo teste de Tukey 5% de probabilidade



No primeiro dia de incubação (0 dias) entre os tratamentos com os condicionadores não deferiram estatisticamente da testemunha, não ocorreu efeito dos condicionadores no início do experimento. Os maiores valores de Ca^{2+} na solução do solo com o aumento do tempo de incubação, ocorreram com os tratamentos com gesso e gesso 50% da dose e enxofre elementar com adição de *Acidithiobacillus*, principalmente por fornecer Ca^{2+} para o solo, com o aumento do Na^+ lixiviado. Esse comportamento também foi observado por Barros et al. (2009) e o incremento de Ca^{2+} do solo foi pelo fornecimento pelo gesso. Assim, os teores de Ca^{2+} solúvel predominaram na solução do solo quando comparados com o Mg^{2+} (Figura 13), com Na^{2+} e K^+ , cujos resultados foram semelhantes para os tratamentos com enxofre elementar com adição de *Acidithiobacillus*, com o aumento do tempo de incubação.

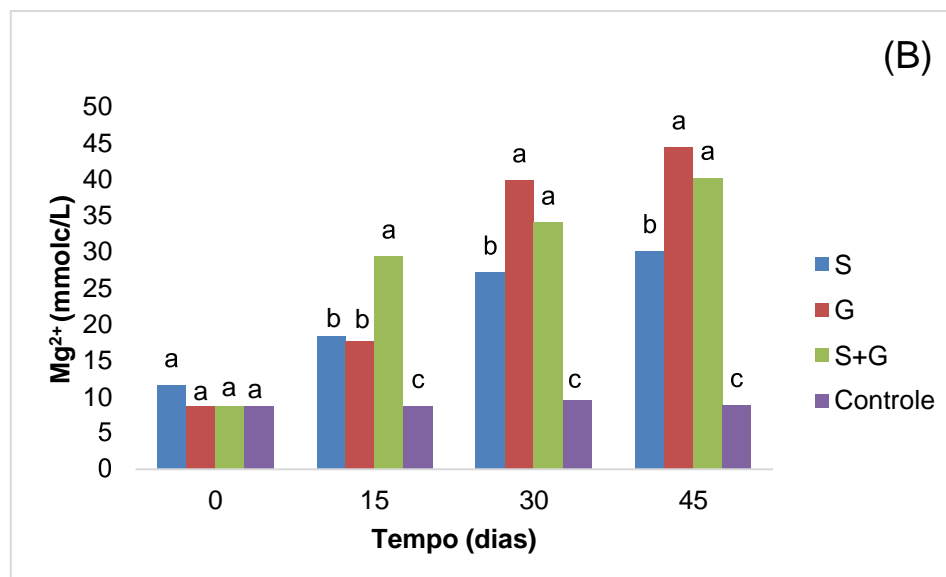
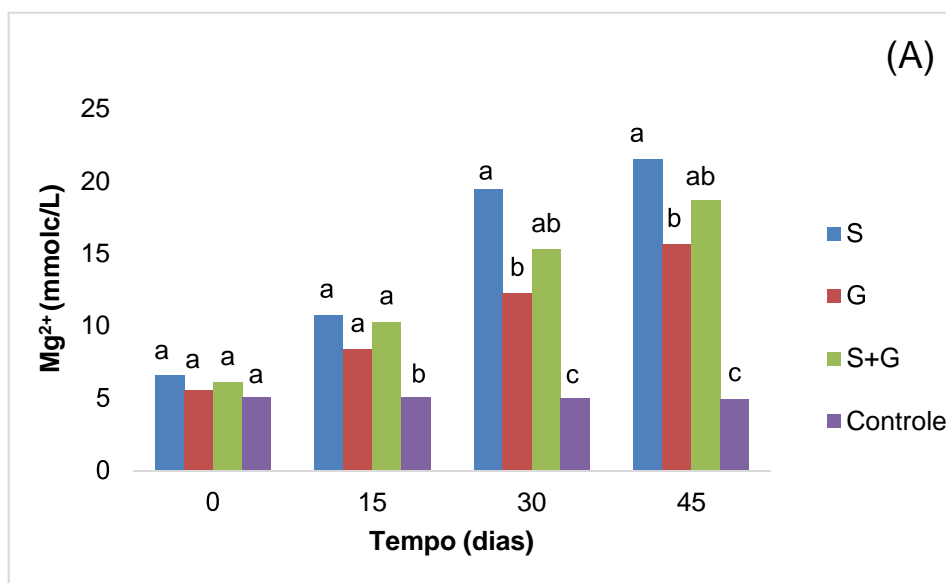
Figura 13. Valores do Ca^{2+} solúvel do solo 1 (A); solo2 (B), em função dos tratamentos S: enxofre elementar (com *Acidithiobacillus thiooxidans*), G: gesso, S +G :gesso 50% da dose e enxofre (com *Acidithiobacillus thiooxidans*) 50% da dose e o controle absoluto (solo sem condicionador) e tempo de incubação (0,15,30 e 45 dias). CV: 21,84%. Colunas com as letras minúsculas diferentes no mesmo tempo de incubação mostram diferença significativa pelo teste de Tukey 5% de probabilidade



No primeiro tempo de incubação (0 dias), não houve diferença significativa entre os tratamentos com os condicionadores e a testemunha. No segundo e no terceiro tempo de incubação (15 e 30 dias) entre os tratamentos com os condicionadores diferiram significativamente da testemunha. Entre os tratamentos com os condicionadores, o enxofre com *Acidithiobacillus thiooxidans* influenciou positivamente no aumento do teor de Mg^{2+} , pode ser resposta dos tratamentos com condicionadores na solubilização de minerais ricos em Mg^{2+} e na diminuição da lixiviação do Magnésio.

A aplicação do enxofre inoculado com *Acidithiobacillus thiooxidans* promoveu alteração nas características químicas dos dois solos. A maior ação da aplicação do enxofre nas propriedades químicas foi observada no tempo de incubação (45 dias), quando se considera os teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} solúvel. A reação ácida promovida pelo enxofre elementar aumenta a decomposição de minerais no solo (SÁ et al., 2013).

Figura 14. Valores do Mg^{2+} solúvel do solo 1 (A); solo2 (B), em função dos tratamentos S: enxofre elementar (com *Acidithiobacillus thiooxidans*), G: gesso, S +G: gesso 50% da dose e enxofre (com *Acidithiobacillus thiooxidans*) 50% da dose e controle absoluto (solo sem condicionador) e tempos de incubação (0,15,30 e 45 dias). CV: 49,18%. Colunas com as letras minúsculas diferentes no mesmo tempo de incubação mostram diferença significativa pelo teste de Tukey 5% de probabilidade.



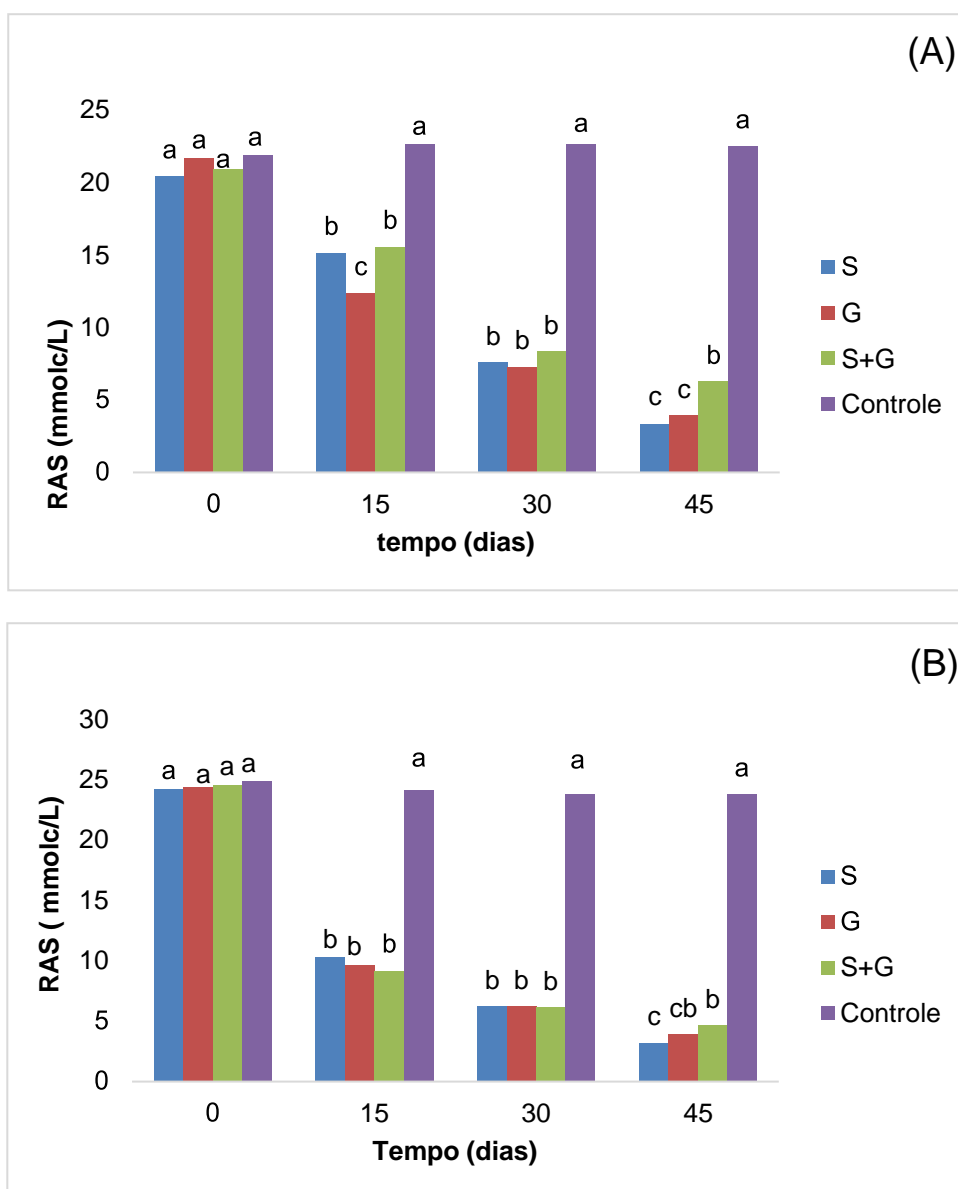
No primeiro tempo de incubação (0 dias) observou-se que não houve diferença estatística entre os tratamentos com os condicionadores e a testemunha. Pode-se verificar que o teor de sódio é predominante em relação ao cálcio e magnésio, o valor da RAS alto. Os valores da RAS no segundo tempo de incubação (15 dias) para solo arenoso (1) (Figura 15A), houve diferença significativa entre o tratamento condicionador gesso e a testemunha. A testemunha apresentou valor médio de 22 mmolc L⁻¹. O tratamento condicionado com o gesso observando-se valor médio 12,35 mmolc L⁻¹ (Figura 15A), RAS < 13 mmolc L⁻¹, ocorreu diminuição do Na⁺ solúvel em relação aos teores de Ca²⁺ e Mg²⁺ solúveis, principalmente devido ao aumento do cálcio no solo fornecido pelo gesso, enquanto o tratamento com enxofre com adição de *Acidithiobacillus thiooxidans* e o tratamento com 50% enxofre com adição de *Acidithiobacillus thiooxidans*+50% gesso no período de incubação de 15 dias apresentou diferença significativa da testemunha, mas com valor médio acima de 13 mmolc L⁻¹ (Figura 15A). que o período de incubação não foi suficiente para diminuir a concentração de sódio solúvel e em relação ao cálcio e magnésio solúvel.

Por outro lado, para o solo argiloso (S2) (Figura 15B). No segundo tempo de incubação (15 dias) os tratamentos com os condicionadores diferenciaram-se significativamente da testemunha promovendo redução da RAS para valores menores do que 13 mmolc L⁻¹, a predominância do Ca²⁺ solúvel em relação aos teores de Na⁺ e Mg²⁺ solúveis, como o aumento da concentração do cálcio no solo proporcionou assim maior floculação do solo argiloso, onde solos com mais argila são mais reativos do que solos com menos argila, isto está diretamente relacionada com a quantidade de carga negativa.

No terceiro tempo de incubação (30 dias) os tratamentos com os condicionadores reduziram a RAS dos solos para valores menores do que 13 mmolc L⁻¹; quando comparados com o tratamento controle, com valores da RAS de 21,86 e 24,88 mmolc L⁻¹, respectivamente no solo arenoso (S1) e no solo Argiloso (S2). O tratamento com a aplicação de gesso e o tratamento com enxofre com adição de *Acidithiobacillus thiooxidans* foram mais efetivos na diminuição da RAS quando comparados com o tratamento com 50% enxofre com adição de *Acidithiobacillus thiooxidans*+50% gesso, constatou-se, principalmente, um incremento na concentração dos teores de Ca²⁺ e Mg²⁺ na solução do solo no período de incubação

de 30 e 45 dias. Outros trabalhos apresentaram resultados semelhantes com a aplicação do gesso como condicionador na redução da RAS (LI et al., 2018; McKeNNA et al., 2019). Entretanto, o Na^+ solúvel sendo reduzido, com isso, aumento da relação $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$ diminui o valor da Relação de adsorção de sódio (RAS), com a diminuição da RAS diminui o Risco de sodificação do solo.

Figura 15. Valores da Relação de adsorção de sódio (RAS) do extrato de saturação do solo1 (A); do solo 2 (B), em função dos tratamentos S: enxofre elementar (com *Acidithiobacillus thiooxidans*); G: gesso, S +G: gesso 50% da dose e enxofre (com adição *Acidithiobacillus thiooxidans*) 50% da dose e o controle absoluto (solo sem condicionador) e tempos de incubação (0,15,30 e 45 dias). CV: 12,70%. Colunas com as letras minúsculas diferentes no mesmo tempo de incubação mostram diferença significativa pelo teste de Tukey 5% de probabilidade



4.2 Avaliação do extrato lixiviado

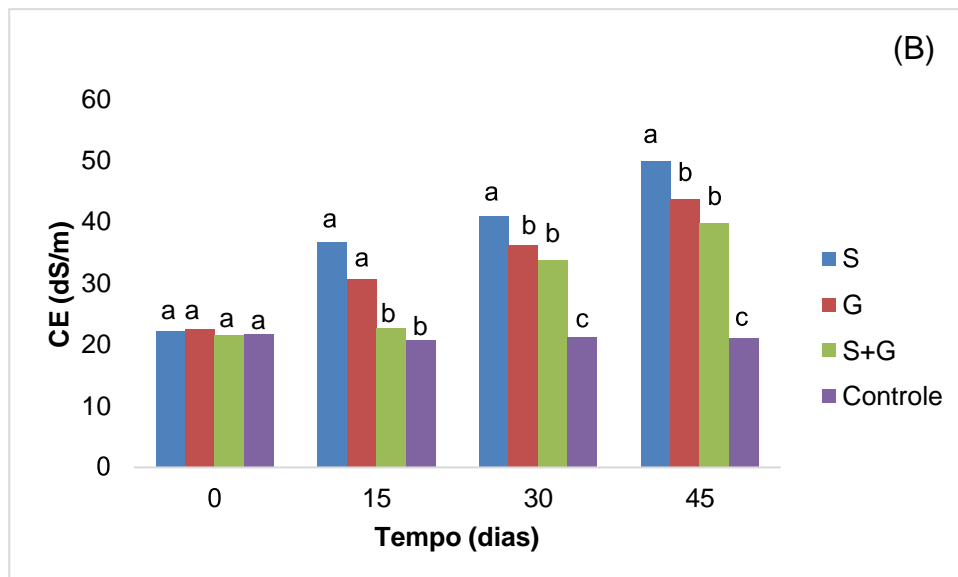
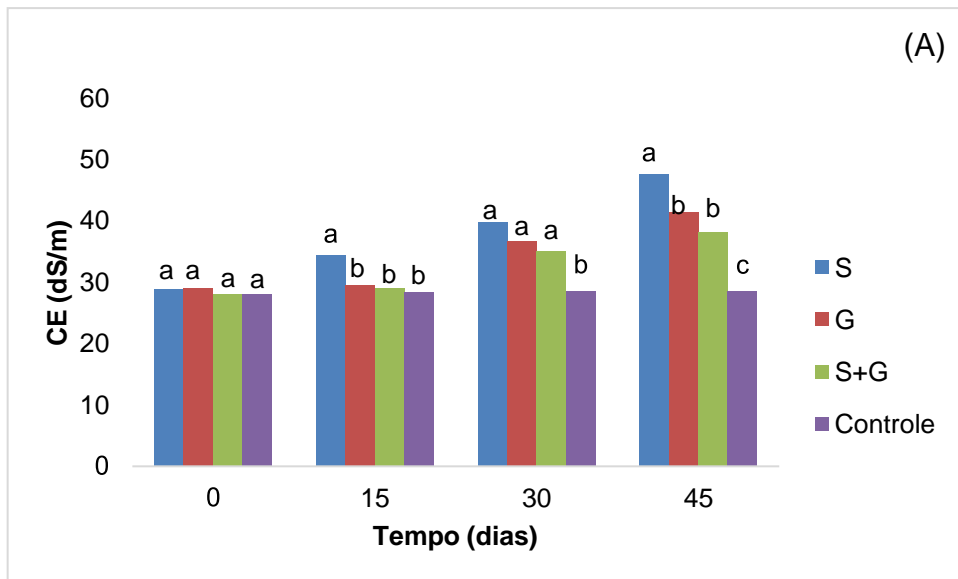
A interação entre os condicionantes e os períodos de incubação exerceu efeito positivo na diminuição da salinidade e sodificação nos dos solos, expressa pela condutividade elétrica (CE) nos lixiviados.

No primeiro tempo de incubação (0 dias) não houve diferença significativa entre os tratamentos condicionadores com a testemunha. Para os valores da CE dos lixiviados, após a aplicação da lâmina de lixiviação a partir dos 15 dias de incubação, observou-se aumento nos lixiviados de ambos os solos, com o aumento do tempo de incubação.

Os valores da condutividade elétrica (CE) dos lixiviados dos períodos de incubação 0 e 15 dias, foram inicialmente baixos por causa da baixa atuação dos condicionadores neste pequeno intervalo de tempo, o que contribuiu para uma menor concentração de sais lixiviados, quando comparados com os tempos de incubação de 30 e 45 dias, o que explica o fato da CE dos lixiviados dos tratamentos com os condicionadores diferenciaram significativamente da testemunha.

Portanto, observou-se aumento da condutividade elétrica da solução lixiviada dos solos salino-sódicos, aos 30 e 45 dias de incubação (Figura 16). Os aumentos foram de 28,95 para 47,67 dS m^{-1} no solo arenoso (S1), e de 22,16 para 50,00 dS m^{-1} , no solo Argiloso (S2), respectivamente, aos 45 dias de incubação, condicionados pela adição de enxofre elementar com *Acidithiobacillus thiooxidans*, que promoveu expressivos aumentos na lixiviação dos sais de ambos os solos. Maior elevação da CE do lixiviado indica a eficiência no processo de lavagem do solo.

Figura 16. Valores da condutividade elétrica (CE) do lixiviado do solo 1 (A); solo2 (B), em função dos tratamentos S: enxofre elementar (com adição de *Acidithiobacillus thiooxidans*), G: gesso, S +G: enxofre (com adição de *Acidithiobacillus thiooxidans*) 50% da dose e gesso 50% da dose, controle absoluto (solo sem condicionador) e tempo de incubação (0,15,30 e 45 dias). CV: 11,15%. Colunas com as letras minúsculas diferentes no mesmo tempo de incubação mostram diferença significativa pelo teste de Tukey 5% de probabilidade.

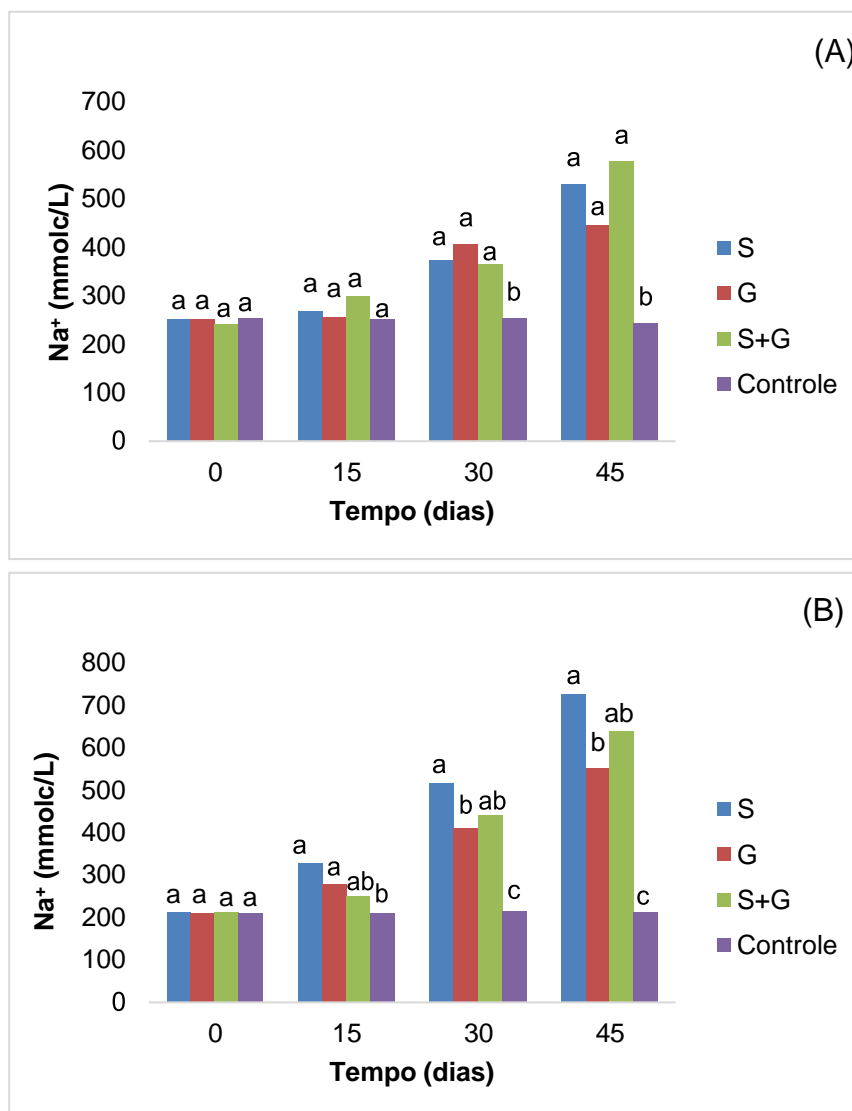


Na Figura 17 são apresentados os dados do sódio na solução lixiviada. A substituição do sódio trocável provocou acúmulo de sódio na solução do solo. E os condicionadores promoveram maior lixiviação do Na^+ do solo em comparação com o tratamento controle, com acúmulo de sódio como verificado na solução lixiviada.

Com aplicação de gesso, e nos tratamentos que receberam 50% enxofre com adição de *Acidithiobacillus thiooxidans* + 50% gesso. No solo argiloso (S2) houve menor remoção do sódio, quando comparado ao condicionador enxofre elementar inoculado com *Acidithiobacillus thiooxidans*.

No solo arenoso (S1), a remoção de Na^+ com a adição dos tratamentos com os condicionantes mostrou maior lixiviação de Na^+ , especialmente quando comparados com o controle. Comportamento semelhante foi verificado por Tazeh et al. (2013) pela substituição do sódio trocável pelo cálcio e lixiviação dos sais do solo e, conseqüentemente, acúmulo de Na^+ no lixiviado. Em solo salino-sódico o risco de não aplicar a lâmina de lixiviação no período certo após aplicação do condicionante, pode ocorrer a lixiviação dos sais e permanência do sódio e o solo salino-sódico transforma-se em um solo sódico (ALBUQUERQUE et al., 2018)

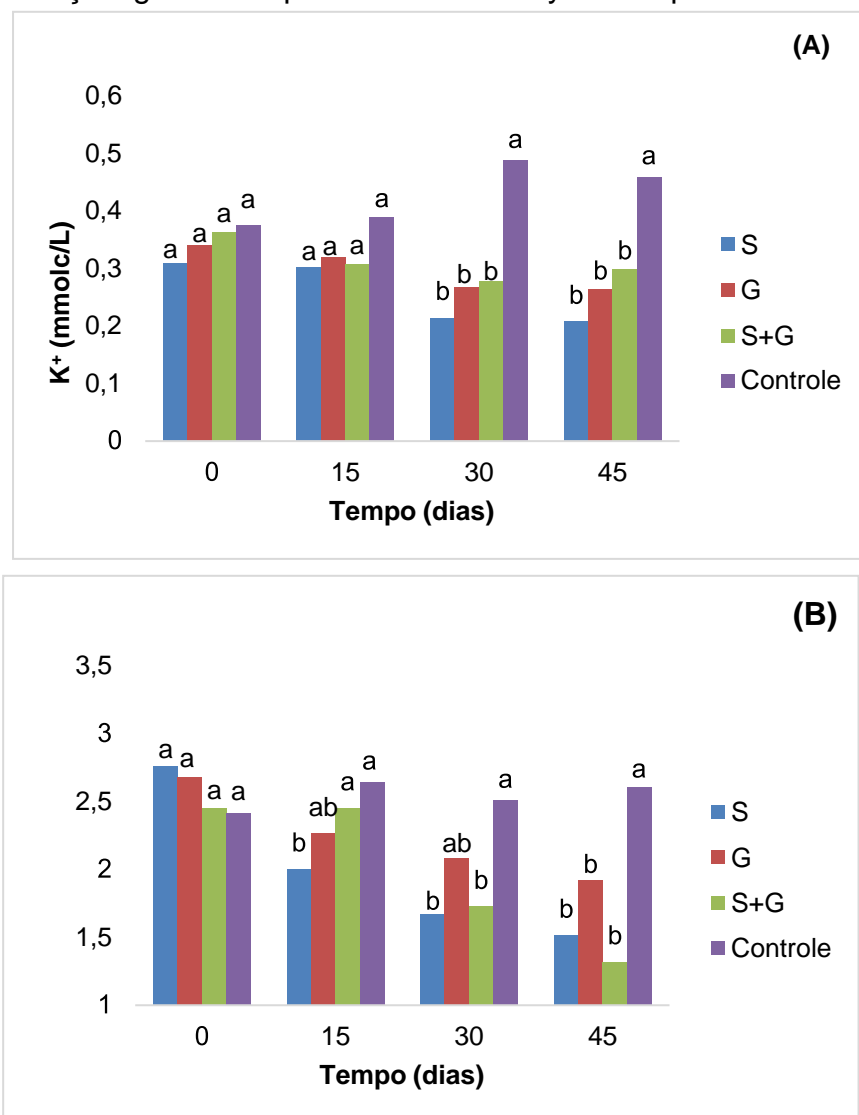
Figura 17. Valores do Na^+ do lixiviado do solo 1(A) 2 do solo 2 (B) em função dos tratamentos S: enxofre elementar (com adição de *Acidithiobacillus thiooxidans*), G: gesso, S +G: enxofre (com adição de *Acidithiobacillus thiooxidans*) 50% da dose e gesso 50% da dose, controle absoluto (solo sem condicionador) e tempo de incubação (0,15,30 e 45 dias). CV: 19,63%. Colunas com as letras minúsculas diferentes no mesmo tempo de incubação mostram diferença significativa pelo teste de Tukey 5% de probabilidade



No primeiro tempo de incubação (0 dias), entre os tratamentos com os condicionadores não diferiram significativamente da testemunha, no início do experimento com valores médios próximos de $0,375 \text{ mmolc L}^{-1}$ e $2,75 \text{ mmolc L}^{-1}$, respectivamente, para o solo arenoso (S1) e para o solo argiloso (S2).

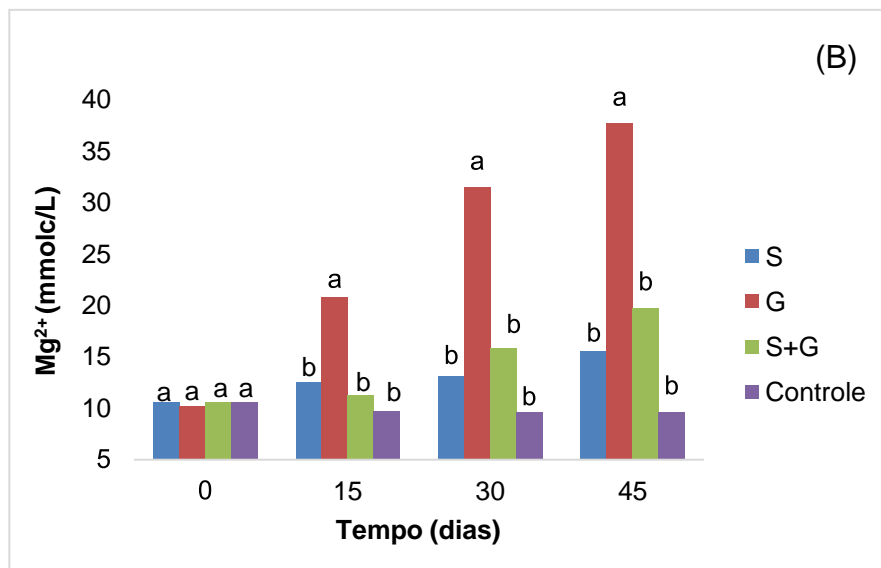
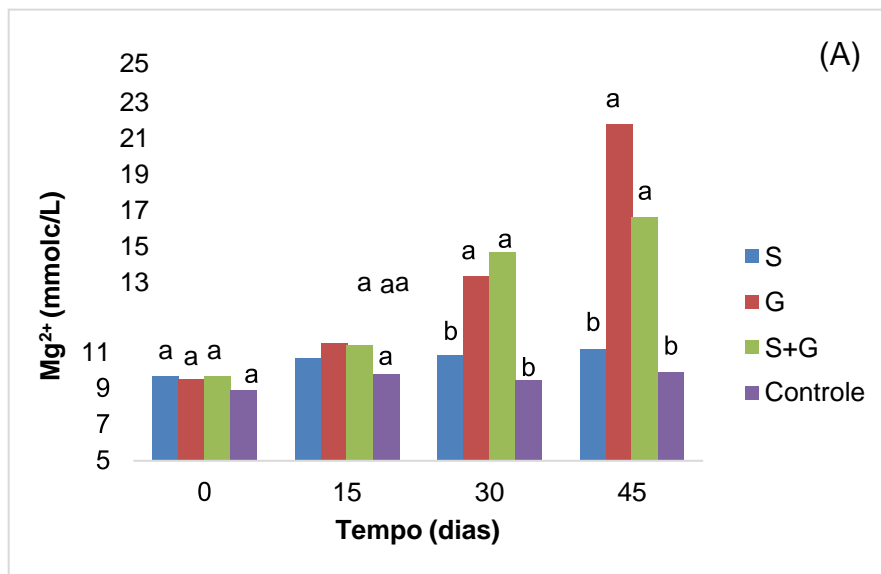
No terceiro e no último período de incubação (30 e 45 dias), houve diferença significativa entre os tratamentos e a testemunha. Ao contrário do que foi observado para o Na^+ lixiviado, para os tratamentos com os condicionadores, a lixiviação do K^+ diminuiu com o aumento do período de incubação para ambos os solos, com diminuição de 54% para o solo arenoso e 49% para o solo argiloso (S2) (Figura 18). Observou-se que no solo arenoso (S1) a testemunha (sem condicionador) promoveu aumento da lixiviação do K^+ , inicialmente com valor médio de $0,375 \text{ mmolc L}^{-1}$ para $0,479 \text{ mmolc L}^{-1}$, com o aumento do tempo de incubação (Figura 18).

Figura 18. Valores do K^+ do lixiviado do solo 1 (A) 2 do solo 2 (B) em função dos tratamentos S: enxofre elementar (com adição de *Acidithiobacillus*), G: gesso, S +G: enxofre (com adição de *Acidithiobacillus*) 50% da dose e gesso 50% da dose, controle absoluto (solo sem condicionador) e tempo de incubação (0,15,30 e 45 dias). CV: 26,19%. Colunas com as letras minúsculas diferentes no mesmo tempo de incubação mostram diferença significativa pelo teste de Tukey 5% de probabilidade.



Tratamento com gesso como condicionador provocou maior lixiviação de magnésio solúvel, em ambos solos com o aumento dos períodos de incubação (Figura 19), cujos valores aos 0 dias de incubação 9,6 e 10 mmolc L⁻¹ passaram para 23,6 e 36,7 mmolc L⁻¹ aos 45 dias de incubação, respectivamente para o solo arenoso (S1) e solo argiloso (S2). Com aumento da concentração de cálcio e aumento da floculação do solo, aumenta a taxa de lixiviação de alguns nutrientes no solo. A aplicação de gesso promoveu lixiviação excessiva do Mg²⁺ e diminuiu sua disponibilidade o que pode causar deficiência nas plantas (PAULETTI et al., 2014). O tratamento com 50% enxofre com adição de *Acidithiobacillus thiooxidans* + 50% de gesso apresentaram resultados semelhantes aumento da concentração de magnésio na solução lixiviada. No solo arenoso (S1), o tratamento com enxofre com adição de *Acidithiobacillus thiooxidans* diferenciou significativamente do gesso e do tratamento 50 % enxofre com adição de *Acidithiobacillus thiooxidans* + 50% de gesso, mas não diferenciou estatisticamente da testemunha. Observou-se que com aumento do tempo de incubação aumentou a concentração de magnésio com valores próximo de 10 mmolc L⁻¹.

Figura 19. Valores de Mg^{2+} do lixiviado do solo 1 (A); do solo 2 (B), em função dos tratamentos S: enxofre elementar (com *Acidithiobacillus thiooxidans*), G: gesso, S +G: enxofre (com *Acidithiobacillus thiooxidans*) 50% da dose e gesso 50% da dose e o controle absoluto (solo sem condicionador) nos tempos de incubação (0,15,30 e45 dias). CV: 36%. Colunas com as letras minúsculas diferentes no mesmo tempo de incubação mostram diferença significativa pelo teste de Tukey 5% de probabilidade.



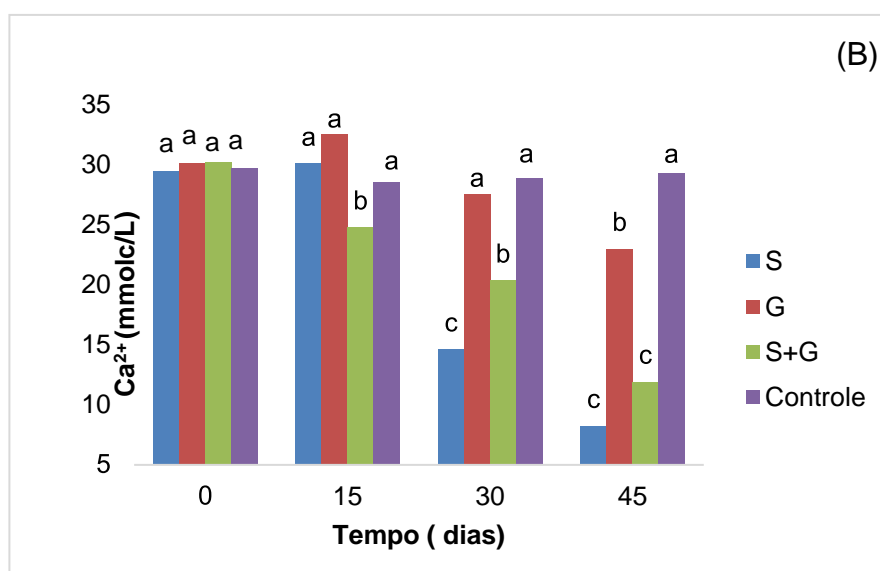
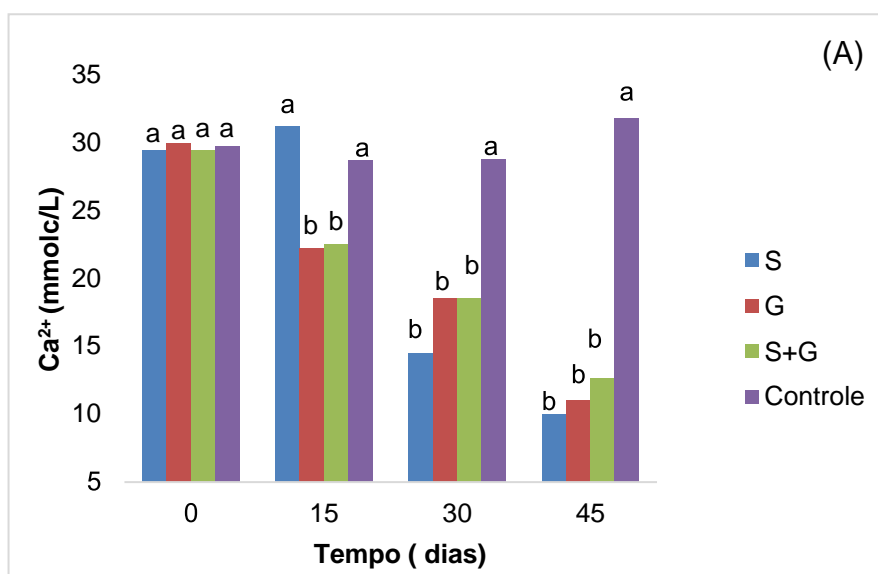
No primeiro tempo de incubação (0 dias) não houve diferença estatística entre os tratamentos com os condicionadores e a testemunha para ambos os solos, os tratamentos com o condicionador enxofre elementar com *Acidithiobacillus thiooxidans* e 50% enxofre com *Acidithiobacillus thiooxidans* + 50% gesso diminuíram o teor de cálcio na solução lixiviada, com o aumento do período de incubação (Figura 20).

Do terceiro ao quarto tempo de incubação (30 e 45 dias) os tratamentos diferiram significativamente da testemunha, houve efeito positivo dos tratamentos ao longo do tempo de incubação, ocorrendo retenção do cálcio no solo. Assim, promoveu menor lixiviação de Ca^{2+} correspondendo a 68% de redução do teor de cálcio lixiviado quando comparado o tratamento com a testemunha, que com o aumento de tempo de incubação (45 dias) o teor de Ca^{2+} lixiviado continuou elevado, no solo arenoso (S1) (Figura 20A).

No solo arenoso (S1), observou-se comportamento diferente dos tratamentos com os condicionadores, aos 15 dias de incubação quando verificou-se elevação da concentração do Ca^{2+} lixiviado, quando comparado o gesso com os demais tratamentos. O tratamento com gesso, aos 30 e 45 de incubação, promoveu redução da concentração do Ca^{2+} lixiviado (Figura 20).

Entre os tratamentos com condicionadores, no solo argiloso (S2), observou-se redução da concentração do Ca^{2+} no extrato lixiviado nos tratamentos com enxofre com *Acidithiobacillus* aos 30 e 45 dias de incubação (Figura 20 B), com valores 14 e 10 mmolc L^{-1} , respectivamente. Teor de cálcio a abaixo dos 30 mmolc L^{-1} lixiviados aos (0 dias). Para o tratamento da mistura com 50% enxofre inoculado com *Acidithiobacillus* + 50% gesso, observou-se comportamento semelhante, diminuindo a concentração do cálcio no extrato do lixiviado aos 30 e 45 dias de incubação (Figura 20 B), com valores 20 e 11 mmolc L^{-1} , respectivamente. Com teor inferior dos 30 mmolc L^{-1} lixiviados no primeiro tempo de incubação (0 dias). O condicionador gesso reduziu a concentração de cálcio na solução lixiviada, mas foi menos eficiente do que os demais condicionadores. O gesso promoveu maior fornecimento de cálcio para o solo e elevada lixiviação dos cátions.

Figura 20. Valores de Ca^{2+} lixiviado do solo 1 (A); solo2 (B), em função dos tratamentos S: enxofre elementar (com adição de *Acidithiobacillus thiooxidans*), G: gesso, S +G: enxofre (com adição de *Acidithiobacillus thiooxidans*) 50% da dose e gesso 50% da dose, controle absoluto (solo sem condicionador) e tempo de incubação (0,15,30 e 45 dias). CV: 20,64%. Colunas com as letras minúsculas diferentes no mesmo tempo de incubação mostram diferença significativa pelo teste de Tukey 5% de probabilidade.



5 CONCLUSÕES

A aplicação de enxofre elementar com *Acidithiobacillus thiooxidans* proporcionou melhorias nas condições químicas no solo, especialmente na redução do pH e de sódio e com aumento dos teores de cálcio e magnésio.

O gesso reduziu a RAS e a sodicidade do solo mostrou-se eficaz com aumento no fornecimento de cálcio e diminuição de sódio.

O condicionador 50% enxofre elementar com adição de *Acidithiobacillus thiooxidans* +50% gesso proporcionou redução do sódio e pH do solo, mas foi menos eficiente na correção da sodicidade do que o gesso e enxofre elementar com adição de *Acidithiobacillus thiooxidans*.

O período de incubação de 45 dias promoveu o maior efeito na redução de Na⁺ trocável, na CE, e nos valores da RAS e da PST. Mas faz necessário mais tempo de incubação acima de 45 dias para a recuperação mais eficiente do solo

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBUQUERQUE, A. S.; FONSECA, N. C.; SANTOS, R. V.; MEDEIROS, W. P. Atributos químicos em solo salino-sódico e efeito do ácido sulfúrico no crescimento da *Prosopis juliflora*. **Revista Ciência Agrária**, Recife, v. 61, p. 1-8, 2018.

BARROS, M. F. C.; BEBÉ, F. V.; SANTOS, T. O.; CAMPOS, M. C. C. Influência da aplicação de gesso para correção de um solo salino-sódico cultivado com feijão caupi. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, Sergipe, v.9, n.1, p.77-82, 2009.

BRONICK, C.J., LAL, R. Soil structure and management: A review. **Geoderma**, v.124, p. 3-22. 2005. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2004.03.005>

BUTCHER, K.; WICK, A. F.; DESUTTER, T.; CHATTERJEE, A.; HARMON, J. Soil salinity: a threat to global food security. **Agronomy Journal**, Madison, v. 108, p. 2189–2200, 2016.

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**, Amsterdam, v. 573, p. 727-739, 2016.

DIAS, N. S.; BLANCO, F. F. **efeitos dos sais no solo e na planta**. In: GHEYI, H. R.; DIAS, N. S.; LACERDA, C. F. In: Manejo da salinidade na agricultura. Fortaleza, INCT Sal, p. 472, 2010.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo. 3ed.** Revista e Ampliada. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 574p. 2017.

FAO – Food and agricultural organization of the United Nations. Status of the World's Soil Resources. Main report. **Intergovernmental Technical Panel on Soils (ITPS)**, Rome, 609 p., 2015.

FERREIRA, P. A.; SILVA, J. B. L.; RUIZ, H.A.; Aspectos físicos e químicos de solos em regiões áridas e semiáridas. In: Ghey, H.R. Dias, N.S.; Lacerda, C.F.; Gomes Filho, E; **Manejo da salinidade na Agricultura: Estudos básicos e aplicados**. 2. ed. Fortaleza - CE: INCTSal. 2016. p. 18 – 34.

GARCIA JR., O.; BIGHAM, J. M.; TUOVINEM, O. H. Oxidation of isochemical FeS₂ (marcasite-pyrite) by *Acidithiobacillus thiooxidans* and *Acidithiobacillus ferrooxidans*. **Minerals Engineering**, v.20, p. 98-101, 2007.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.mineng.2006.05.005>

GHASSEMI, F.; JAKEMAN, A. J.; NIX, H. A. **Salinization of land and water resources: Human causes, extent, management and case studies**. UNSW Press, Sydney, CAB International, Wallingford. 1995.

GORJI, T.; SERTEL, E.; TANIK, A. Monitoring soil salinity via remote sensing technology under data scarce conditions: A case study from Turkey. **Ecological Indicators**, Amsterdam, v. 74, p. 384-391, 2017.
<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.11.043>

HOLANDA, J. S.; AMORIM, J. R. A.; FERREIRA NETA, M.; HOLANDA, A. C.; SÁ, F. V. S. Qualidade da água para irrigação. In: GHEYI, H. R.; DIAS, N. S.; LACERDA, C. F.; GOMES FILHO, E. **Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados**. Fortaleza, INCT Sal, p. 489-504, 2016.

HUANG, L. H.; X. LIU, X.; WANG, Z. C.; LIANG, Z. W.; WANG M. M.; LIU, M.; SUAREZ, L. D. Efeitos interativos do pH, CE e nitrogênio na produção e absorção de nutrientes do arroz (*Oryza sativa* L). **Agricultural Water Management**, v.194, p. 48 – 57, 2017. [Doi:10.1016 / j.agwat.2017.08.012](https://doi.org/10.1016/j.agwat.2017.08.012)

JESUS, J. O. M.; DANKO, A. S.; FI ZA, N. A.; BORGES, M. Fitorremediação de solos afetados por sal: uma revisão dos processos, aplicabilidade e impacto das mudanças climáticas. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 22, p. 6511 – 6525, 2015. <https://doi.org/10.1007/s11356-015-4205-4>

IVUSHKIN, K.; BARTHOLOMEUS, H.; BREGT, A. K.; PULATOV, A.; BUI, E. N.; WILFORD, J. Soil salinity assessment through satellite thermography for different irrigated and rainfed crops. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, Amsterdam, v. 68, p. 230-237, 2018.

LEITE, E. M.; CAVALCANTE, L. F.; DINIZ, A. A.; SANTOS, R. V.; ALVES, G. da S.; CAVALCANTE, I. H. L. Correção da sodicidade de dois solos irrigados em resposta à aplicação de gesso agrícola. **Irriga**, Botucatu, v. 12, p. 168-176, 2007.

LEOGRANDE, R.; VITTI, C. Use of organic amendments to reclaim saline and sodic soils: a review. **Arid Land Research and Management**, V. 33, p. 1-21, 2019.

<https://doi.org/10.1080/15324982.2018.1498038>

LI, Y.; HAYNES, R. J.; CHANDRAWANA, I.; ZHOU, Y. F. Properties of seawater neutralized bauxite residues and changes in chemical, physical and microbial properties induced by additions of gypsum and organic matter. **Journal of Environmental Management**, v. 223, p. 489-494, 2018.

<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.06.070>

LIAO, R.; YU H.; LIN, H.; YANG, P. Um estudo quantitativo sobre os parâmetros tridimensionais dos poros e propriedades físicas de solos sódicos restaurados por gesso FGD e água de lixiviação. **Journal of Environmental Management**, v. 248, p. 109-303, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.109303>

LIMA, F. S.; N. P.; SOUSA, C. S.; LIRA JUNIOR, M. A.; MALHEIROS, S. M. M.; STRAATEN, P. Earthworm compound and rock biofertilizer enriched in nitrogen by inoculation with free living diazotrophic bacteria. **World journal of microbiology & biotechnology**, New York, v. 26, p. 1769-1775, 2010. DOI: 10.1007 / s11274-010-0357-z

MAO, L.; GUO, W.; YUAN, Y.; QUIN, D.; WANG, S.; NIE, J.; ZHAO, N.; SONG, X.; SUN, X. Cotton stubble effects on yield and nutrient assimilation in coastal saline soil. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 239, p. 71-81, 2019.

McKENNA, B. A.; KOPITTKER, P. M.; MACFARLANE, D. C.; DALZELL, S. A.; MENZIES, N. W. Changes in soil chemistry after the application of gypsum and sulfur and irrigation with coal seam water. **Geoderma**, v. 337, p. 782–791, 2019.

<https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.10.019>

MEDEIROS, J. F.; GHEYI, H. R.; COSTA, A. R. F. C.; TOMAZ, H. V. Manejo do solo-água-planta em áreas afetadas por sais. In: GHEYI, H. R.; DIAS, N. S.; LACERDA, C. F.; GOMES FILHO, E. **Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados**. Fortaleza, INCT Sal, p. 9-16, 2016.

MIRANDA, M. A.; OLIVEIRA, E. E. M.; SANTOS C. F.; FREIRE 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

MIRANDA, M. R. F. Q.; FREIRE, M. B. G. F.; ALMEIDA, B. G.; FREIRE, A. G. E.; FREIRE, F. J.; PESSOA, L. G. M. Melhoria dos atributos físicos degradados de um solo salino-sódico influenciado por fitorremediação e condicionadores de solo. **Archiver of Agronomy and Soil Science**, v. 64, p. 1207 – 1221, 2018.

<https://doi.org/10.1080/03650340.2017.1419195>

MOHAMED, A. A.; EWEDA, W. E. E.; HEGGO, A. M.; HASSAN, E. A. Effect of dual inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi and sulphur - oxidizing bacteria on onion (*Allium cepa* L.) and maize (*Zea mays* L.) grown in sandy soil under greenhouse conditions. **Annals of Agricultural Sciences**, v. 59, p. 109-118, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.aosas.2014.06.015>

PAULETTI, V.; PIERRI, L.; RANZAN, T.; BARTH, G.; MOTTA, A. C. V. Efeitos em longo prazo da aplicação de gesso e calcário no sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, p. 495-505, 2014. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832014000200014>

PEDROTTI, A.; CHAGAS, R. M.; RAMOS, V. C.; PRATA, A. P. N.; LUCAS, A. A. T.; SANTOS, P. B. Causas e consequências do processo de salinização dos solos. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental Santa Maria**, Santa Maria, v. 19, p. 1308-1324, 2015.

PESSOA, L. G. M.; FREIRE, M. B. G. S.; SANTOS, R. L.; FREIRE, F. J.; MIRANDA, M. F. A.; SANTOS, P. R. Saline water irrigation in semiarid region: I – effects on soil chemical properties. **Australian Journal of Crop Science**, v.13, n.7, p. 1169-1176, 2019. DOI: 10.21475/ajcs.19.13.07. p1687

QADIR, M.; GHAFOR, A.; MURTAZA, G. Amelioration strategies for saline soils: a review. **Land Degradation & Development**, v. 11, p. 501–521. 2001.

RESENDE, G. M.; YURI, J. E.; COSTA, N. D.; MOTA, J. H. Desempenho de cultivares de cenoura em sistema orgânico de cultivo em condições de temperaturas elevadas. **Revista Horticultura Brasileira**, Vitória da Conquista, v. 34, p. 121-125, 2016.

RIBEIRO, M. R.; RIBEIRO FILHO, M. R.; JACOMINE, P. K. T. Origem e classificação dos solos afetados por sais. In: GHEYI, H. R.; DIAS, N. S.; LACERDA, C. F.; GOMES FILHO, E. **Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados**. 2º ed. Fortaleza: INCTSal, cap. 2, p. 9-15. 2016.

SÁ, F. V. S.; ARAUJO, J. L.; NOVAES, M. C.; OLIVEIRA, S. R. Crescimento inicial de craibeira em solo salinizado corrigido com enxofre elementar. **Irriga**, v. 18, n. 4, p. 647- 660, 2013. DOI: 10.15809/irriga.2013v18n4p647.

SANTOS, M. de F. G dos.; OLIVEIRA, F A de.; CAVALCANTE, L. I. F.; MEDEIROS, J. F. de.; SOUZA, C. C. de. Solo sódico tratado com gesso Agrícola, composto delixo urbano e vinhaça. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, V.9, n.3, p. 307-310, 2005.

SAS INSTITUTE. The SAS 10.2 software, Statistical Analysis System for Windows. 478. In: Procedure guide for personalcomputer, Cary. 2011.

SHAHID S. A.; ZAMAN, M.; HENG, L. **Introduction to soil salinity, sodicity and diagnostic technique** M. Zaman, S.A. Shahid, L. Heng (Eds.), Guideline for Salinity Assessment, Mitigation and Adaptation Using Nuclear and Related Techniques, pp. 1-42, 2018.

SHARP-HEWARD, S.; ALMOND, P.; ROBINSON, B. Soil disturbance and salinization on a vineyard affected by landscape recontouring in Marlborough, New Zealand. **Catena**, v. 122, p. 170-179, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2014.06.022>

SILVA, T. G. F.; PRIMO, J. T. A.; MOURA, M. S. B.; SILVA, S. M. S.; MORAIS, J. E. F.; PEREIRA, P. C.; SOUZA, C. A. A. Soil water dynamics and evapotranspiration of forage cactus clones under rainfed conditions. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 50, n. 7, p. 515-525, 2015. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2015000700001>

SINGH, Y. P.; NAYAK, A. K.; SHARMA, D. K.; GAUTAM, R. K.; SINGH, R. K.; RANBIR, S.; MISHRA, V.K.; PARIS, T.; ISMAIL, A. M. Varietal selection in sodic soils of Indo - Gangetic plains through farmers' participatory approach. **African Journal of Agricultural Research**, Nairobi, v. 8, p. 2849-2860, 2013.

SOUSA, F. Q.; ARAUJO, J. L.; SILVA, A. P.; PEREIRA, F. H. F.; SANTOS, R. V.; LIMA, G. S. Crescimento e respostas fisiológicas de espécies arbóreas em solo salinizado tratado com corretivos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.16, n.2, p.173-181, 2012.

STAMFORD, N. P.; FIGUEIREDO, M. V. B.; SILVA JUNIOR, S.; FREITAS, A. D. S.; SANTOS, C. E. R. E. S.; LIMA JUNIOR, M. A. Effect of gypsum and sulfur with *Acidithiobacillus* on soil salinity alleviation and on cowpea biomass and nutrient status as affected by PK rock biofertilizer. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 192, p. 287-292, 2015.

STAMFORD, N. P.; FREITAS, A. DO. S.; FERRAZ, D. S.; MONTENEGRO, A.; SANTOS, C. E. R. E S. Nitrogen fixation and growth of cowpea and yam bean legumes in a sodic soil as affected by gypsum and sulphur inoculated with *Thiobacillus* and rhizobial inoculation. **Tropical Grasslands**, Brisbane, v. 38, p. 11-17, 2003.

STAMFORD, N. P.; RIBEIRO, M. R.; FREITAS, A. D. S.; CUNHA, K. P. V.; SANTOS, C. E. R. E. S.; DIAS, S. H. L. Effectiveness of sulfur with *Acidithiobacillus* and gypsum in chemical attributes of a Brazilian sodic soil. **World Journal of Microbiology & Biotechnology**, New York, v. 23, p. 1433-1439, 2007.

STAMFORD, N. P.; SILVA, E. V. N.; OLIVEIRA, W. S.; SILVA, V. S. G.; MARTINS, M. S.; SILVA, M. C. F. Matéria orgânica inoculada com bactérias diazotróficas *Beijerinckia indica* e *Cunninghamella elegans* fungos contendo quitosana em banana no campo. **Acta Scientiarum-Agronomy**, Maringá, v. 39, p. 33-41. 2017.

TAZEH, E. S.; PAZIRA, E.; NEYSHABOURI, M. H.; ABBASI, F.; ABYANEH, H. Z. Effects of two organic amendments on EC, SAR and soluble ions concentration in a saline-sodic soil. **International Journal of Biosciences**, Rajshahi, v. 3, n. 9, p. 55-68, 2013. <http://dx.doi.org/10.12692/ijb/3.9.55-68>

UNITED STATES SALINITY LABORATORY STAFF. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. Washington DC, US Department of Agriculture, 1954. 160p. (**USDA Agricultural Handbook, 60**).

VAN BEEK, C. L.; TÓTH, G. **Risk Assessment Methodologies of Soil Threats in Europe, JRC Scientific and Policy Reports EUR**. Office for Official Publication of the European Communities, Luxemburg, 2012.

VAN STRAATEN, P. **Agrogeologia: O uso de rochas para as culturas**. Cambridge, Ontário, 440p. 2007.

VASCONCELOS, R. R. 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**, Campina Grande, v. 17, p. 1318–1325, 2013.

WANG, J.; YUAN, G.; LU, J.; WU, J.; WEI, J. Variation of salts and available nutrients in salt-affected soil during leaching process under the influence of organic ameliorators, **Chemistry and Ecology**, v. 36, p. 256-269, 2020.
<https://doi.org/10.1080/02757540.2019.1702977>

WICHELNS, D.; QADIR, M. Achieving sustainable irrigation requires effective management of salts, soil salinity, and shallow groundwater. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 157, p. 31-38, 2015.

WU, Y.; LI, Y.; ZHENG, C.; ZHANG, Y.; SUN, Z. Organic amendment application influence soil organism abundance in saline alkali soil. **European journal of soil biology**, Paris, v. 54, p. 32-40, 2013.

ZHANG, X. M.; GUO, K.; XIE, Z. X.; FENG, X. H.; LIU, X. J. Effect of frozen saline water irrigation in winter on soil salt and water dynamics, germination and yield of cotton in coastal soils. **Chinese Journal of Eco-Agriculture**, v. 20, p. 1310–1314, 2012. DOI : [10.3724/SP.J.1011.2012.01310](https://doi.org/10.3724/SP.J.1011.2012.01310)

ZHAO, Y.G.; WANG, S.J.; Li, Y.; ZHUO, Y.Q.; LIU J. Sustainable effects of gypsum from desulphurization of flue gas on the reclamation of sodic soil after 17 years. **European Journal of Science**, v. 70, p. 1082-1097, 2019.
<https://doi.org/10.1111/ejss.12807>