

RICARDO RAFAEL ANDRADE DE VASCONCELOS

**EFICIÊNCIA DA APLICAÇÃO DE NÍVEIS DA NECESSIDADE DE GESSO NA
CORREÇÃO DE SOLOS SALINO-SÓDICOS**

RECIFE
PERNAMBUCO
2012

RICARDO RAFAEL ANDRADE DE VASCONCELOS

**EFICIÊNCIA DA APLICAÇÃO DE NÍVEIS DA NECESSIDADE DE GESSO NA
CORREÇÃO DE SOLOS SALINO-SÓDICOS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, pelo aluno Ricardo Rafael Andrade de Vasconcelos, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre.

Orientadora: Dr. Maria de Fatima Cavalcanti Barros

RECIFE
PERNAMBUCO
2012

Ficha catalográfica

V331e Vasconcelos, Ricardo Rafael Andrade de
Eficiência da aplicação de níveis da necessidade de
gesso na correção de solos salino-sódicos / Ricardo Rafael
Andrade de Vasconcelos. – Recife, 2012.
71 f.: Il.

Orientadora: Maria de Fátima Cavalcanti Barros.
Dissertação (mestrado em Engenharia Agrícola) –
Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento
de Tecnologia Rural, Recife, 2012.
Inclui referência e anexo.

1. Sodicidade 2. Salinidade 3. Lâmina de lixiviação
4. Estabilidade de Agregados I. Barros, Maria de Fatima
Cavalcanti, orientadora II. Título

CDD 630

RICARDO RAFAEL ANDRADE DE VASCONCELOS

**EFICIÊNCIA DA APLICAÇÃO DE NÍVEIS DA NECESSIDADE DE GESSO NA
CORREÇÃO DE SOLOS SALINO-SÓDICOS**

Dissertação defendida e aprovada em 28 de Setembro de 2012 pela banca examinadora:

Orientadora:

**Maria de Fatima Cavalcanti Barros, D.Sc.
UFRPE/DEPA**

Examinadores:

**Maria Sonia Lopes da Silva, D.Sc.
EMBRAPA/SOLOS**

**Ênio Farias de França e Silva, D.Sc.
UFRPE/DTR**

**Abelardo Antônio de Assunção Montenegro, Ph.D.
UFRPE/DTR**

Aos meus pais, Ricardo Ataíde de Vasconcelos e Ana Luzia de Andrade Vasconcelos, pelo exemplo e luta.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Gostaria primeiramente de agradecer a Deus, por permanecer do meu lado dando-me as oportunidades nas horas certas e por me confortar nas horas difíceis durante toda minha vida.

Aos meus pais Ricardo Ataíde de Vasconcelos e Ana Luzia de Andrade Vasconcelos, pelo amor incondicional, exemplos de honestidade e caráter, pelos conselhos que me deram e por apoiarem em todas as minhas decisões.

Aos meus irmãos Rafaela Andrade de Vasconcelos e Rodrigo Andrade de Vasconcelos, pelo companheirismo, pela paciência e carinho tão necessários na nossa família.

A professora Maria de Fátima Cavalcanti Barros pela orientação. Pelo exemplo de sabedoria, paciência, incentivo e sugestões. E pela sua grande colaboração nos momentos decisivos da elaboração dessa dissertação.

Aos professores membros da banca, pelas valiosas contribuições para o aperfeiçoamento deste trabalho.

Ao professor Carlos Brancildes Monte Calheiros pelos trabalhos realizados e por ter me orientado na graduação, que contribuiu para o meu desenvolvimento profissional como engenheiro agrônomo.

A Erika Socorro Alves Graciano pelo amor, compreensão e por ter me ajudado a fazer as análises deste experimento nos seus tempos livres.

Aos colegas de Pós-Graduação que testemunharam o esforço, dedicação e luta para a conclusão deste trabalho. E principalmente a Aluizio, Núbia, Mara, Taciana, Andreia e a Adriana que me auxiliaram nas tarefas em laboratório, contribuindo de alguma forma para a conclusão da pesquisa.

A Universidade Federal Rural de Pernambuco através do curso de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, por ter-me dado uma oportunidade profissional e de ter confiado na minha capacidade de conclusão deste trabalho.

A todos que, diretamente e indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho.

LISTA DE FIGURAS

	Pag.
Figura 1- Sistema de aplicação das lâminas de lixiviação e coleta de lixiviado nas colunas de PVC para correção de solo salino-sódico.....	31
Figura 2- Relação entre os níveis de necessidade de gesso e a condutividade elétrica do percolado do solo (S1) e solo (S2), para a lâmina de lixiviação igual a 1 volume de poro.....	35
Figura 3- Relação entre os níveis de necessidade de gesso e a condutividade elétrica do percolado do solo (S1) e solo (S2), para a lâmina de lixiviação igual a 2 volumes de poros.....	36
Figura 4- Relação entre os níveis de necessidade de gesso e a condutividade elétrica do percolado do solo (S1) e solo (S2), para a lâmina de lixiviação igual a 3 volumes de poros.....	37
Figura 5- Relação entre os níveis de necessidade de gesso e o sódio solúvel do lixiviado do solo (S1) e solo (S2), para a lâmina de lixiviação igual a 1 volume de poro.....	38
Figura 6- Relação entre os níveis de necessidade de gesso e o sódio solúvel do lixiviado do solo (S1) e solo (S2), para a lâmina de lixiviação igual a 2 volumes de poros.....	39
Figura 7- Relação entre os níveis de necessidade de gesso e o sódio solúvel do Lixiviado do solo (S1) e solo (S2), para a lâmina de lixiviação igual a 3 volumes de poros.....	39
Figura 8- Relação entre os níveis de necessidade de gesso e o pH dos lixiviados do solo (S1) e solo (S2), para a lâmina de lixiviação igual a 1 volume de poro.....	40
Figura 9- Relação entre os níveis de necessidade de gesso e o pH dos lixiviados do solo (S1) e solo (S2), para a lâmina de lixiviação igual a 2 volumes de poros.....	41

Figura 10 – Relação entre os níveis de necessidade de gesso e o pH dos lixiviados do solo (S1) e solo (S2), para a lâmina de lixiviação igual a 3 volumes de poros.....	42
Figura 11 – Relação entre os níveis de necessidade de gesso e a relação de adsorção de sódio (RAS) do extrato da pasta de saturação dos dois solos salinos-sódicos (S1 e S2).....	44
Figura 12 – Relação entre os níveis de necessidade de gesso e a condutividade elétrica (CE) do extrato da pasta de saturação dos dois solos salinos-sódicos (S1 e S2).....	45
Figura 13 – Relação entre o nível de necessidade de gesso e o sódio trocável dos solos salinos-sódicos (S1 e S2).....	48
Figura 14 – Relação entre o nível da necessidade de gesso e a percentagem sódio trocável (PST) dos solos salinos-sódicos (S1 e S2).....	49
Figura 15 - Taxa de infiltração da amostra de solo S1 e S2 em relação aos Níveis d necessidade de gesso.....	51
Figura 16 - Grau de Dispersão da amostra de S1 e S2 em relação aos Níveis da Necessidade de gesso.....	53
Figura 17 - Lixiviados com colóides, apartir do nível 150% da necessidade de gesso.....	55
Figura 18 - Diâmetro médio ponderado da amostra de S1 e S2 em relação aos Níveis da Necessidade de gesso.....	56
Figura 19 - Diâmetro médio geométrico da amostra de S1 e S2 em relação aos Níveis da Necessidade de gesso.....	57
Figura 20 - Percentagem de estabilidade de agregados da amostra de S1 e S2 em relação aos Níveis da Necessidade de gesso.....	57

LISTA DE TABELAS

	Pag.
Tabela 1- Classificação de solos afetados por sais.....	18
Tabela 2- Característica física das amostras de solos.....	29
Tabela 3- Características físico-hídricas das amostras do solos.....	29
Tabela 4- Características do extrato da pasta de saturação dos solos.....	29
Tabela 5- Características químicas das amostras de solos.....	30
Tabela 6- Frações Granulométrica do gesso.....	30
Tabela 7- Resultados da média de Condutividade Elétrica (CE), Sódio solúvel (Na^+) e pH dos lixiviados.....	34
Tabela 8- Composição química do extrato da pasta de saturação dos solos S1 e S2.....	43
Tabela 9- Percentagem de sódio trocável (PST), sódio trocável (Na^+) e eficiência do Na^+ substituído dos cátions trocáveis.....	47
Tabela 10- Taxa de infiltração em dois solos salino-sódicos submetidos a diferentes níveis de necessidade de gesso.....	50
Tabela 11- Grau de dispersão (GD) e grau de floculação (GF) da argila dos solos salino-sódicos (S1 e S2) após aplicação de diferentes níveis necessidade de gesso (NNG).....	52
Tabela 12- Diâmetro médio ponderado (DMP), diâmetro médio geométrico (DMG) e percentagem de estabilidade de agregados (PEA) em dois solos afetados por sais submetidos a diferentes níveis de necessidade de gesso (NNG).....	54

SUMÁRIO

RESUMO	xii
ABSTRACT	xiii
1. INTRODUÇÃO	14
2. REVISÃO DE LITERATURA	17
2.1. Formação de solos afetados por sais	17
2.2. Classificação de solos afetados por sais	18
2.3. Recuperação de solos afetados por sais	19
2.3.1. Solos salinos	19
2.3.2. Solos salino-sódico e sódico	21
2.4. Efeito do gesso na correção de solos afetados por sais	21
2.5. Efeito de sais e sódio trocável nas propriedades físicas dos solos	23
2.5.1. Estabilidade de Agregados	24
3. MATERIAIS E MÉTODOS	26
3.1. Descrição da área	26
3.2. Área de coleta do solo	26
3.3. Preparo e caracterização física e química do solo	26
3.4. Determinação da necessidade de gesso	30
3.5. Experimento em laboratório	30
3.6. Preparo das unidades experimentais	30
3.7. Descrição dos tratamentos	32
3.8. Condições do ensaio de laboratório	32
3.9. Delineamento experimental	33
3.10. Análise estatística	33
4. RESULTADO E DISCUSSÃO	34
4.1. Condutividade elétrica (CE), sódio solúvel (Na⁺) e pH no lixiviado	34

4.2. Condutividade elétrica (CE) e Relação de Adsorção de sódio (RAS) e sódio solúvel no extrato da pasta saturada.....	42
4.3. Sódio trocável (Na⁺), Porcentagem de sódio trocável (PST) no solo.....	46
4.4. Taxa de infiltração.....	49
4.5. Grau de dispersão e grau de floculação.....	51
4.6. Estabilidade de agregados.....	53
5. CONCLUSÃO.....	58
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	59
7. ANEXO.....	68

RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo avaliar a eficiência da aplicação de diferentes níveis de gesso, na recuperação de solos salino-sódicos e sua influência nas características físico-químicas de solos recém corrigidos pela aplicação de gesso. O experimento foi realizado em laboratório, utilizando colunas de PVC. Os tratamentos foram dispostos em delineamento em blocos casualizados com arranjo fatorial de 2 x 5 (dois solos x cinco níveis da necessidade de gesso), com cinco repetições. Os níveis utilizados foram equivalentes a 50, 100, 150, 200 e 250% da necessidade de gesso, determinada pelo método de Schoonover modificado (Schoonover M-1), incorporados aos primeiros 12,5 cm da coluna de solo. Foram avaliados nos lixiviados a condutividade elétrica (CE); os cátions solúveis e o pH. Nos solos foram determinados o sódio trocável e a percentagem de sódio trocável (PST); a CE; os cátions solúveis e a relação de adsorção de sódio (RAS) no extrato da pasta saturada; a condutividade hidráulica; a taxa de infiltração; grau de dispersão e a estabilidade de agregados. A aplicação do nível de 100% da necessidade de gesso, obtido pelo método de Schoonover M-1, seguida de uma lâmina de lixiviação correspondente a três vezes o volume de poros, proporcionou a correção da sodicidade dos solos ($RAS < 13 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$ e $PST < 15\%$). A lâmina de lixiviação correspondente a três vezes o volume de poros corrigiu a salinidade dos solos quando foram utilizados os níveis de 50 e 100% da necessidade de gesso ($CE < 4,0 \text{ dS m}^{-1}$). A utilização de níveis crescentes de gesso para a correção de solos salino-sódicos proporcionaram maior taxa de infiltração de água dos solos. O nível de 100% da necessidade de gesso promoveu menor grau de dispersão e maior estabilidade de agregados dos solos estudados.

Palavras Chaves: Sodicidade, Estabilidade de agregados, Salinidade, Taxa de infiltração, Lâmina de lixiviação.

ABSTRACT

The present study had as objective to evaluate the effectiveness of applying different levels of gypsum on saline-sodic soil reclamation and its influence on physical-chemical newly corrected soil characteristics by the gypsum application. The laboratory experiment used PVC columns. The treatments were done in a randomized factorial arrangement block of 2x5 (two soil x five level gypsum of requirement), with five replicates. The levels used were equivalent to 50, 100, 150, 200 and 250 % of gypsum requirement, determined by the modified method Schoonover (Schoonover M-1), incorporated at the first 12,5 cm column of soil. The leachate electrical conductivity (EC), soluble cations and pH were evaluated. In soils were determinate the exchangeable sodium and the exchangeable sodium percentage (ESP); The EC, soluble cations and sodium adsorption relation (SAR) in the saturation extract; the hydraulic conductivity, infiltration rate, the dispersed clay water and aggregate stability. The application level 100% of the need of plaster, obtained by the method of Schoonover M-1, followed by a water depth correspondent to three pore volumes afforded the correction of soil sodicity (SAR < 13 mmol L⁻¹ and ESP < 15 %). The water depth correspondent to three times the pore volumes corrected salinity of soil was used when the levels of 50 and 100 % of gypsum requirement (EC < 4,0 dS m⁻¹). The use of increasing levels of gypsum for the correction of saline-sodic soils provided greater water infiltration rate of the soil. The level of 100 % of the gypsum requirement in lower degree of dispersion and more stability of aggregates of soils.

Key words: Sodicity, Aggregate stability, Salinity, Rate of infiltration, Leaching blade.

1. INTRODUÇÃO

O crescimento populacional no mundo vem ocasionando a cada dia, o aumento da procura por alimentos pela população. Com a necessidade de uma maior produção de alimentos para suprir as necessidades da humanidade, a utilização de sistemas de irrigação nas regiões áridas e semiáridas vêm proporcionando a ampliação das áreas agricultáveis em todo o planeta (Machado et al., 2007).

O Brasil, usando o avanço tecnológico, implantou diversos Perímetros Irrigados no Semiárido nordestino, com o intuito de fixar os agricultores, evitando assim o êxodo rural para os grandes centros urbanos, assim como, ampliar a produção de alimentos e melhorar a qualidade de vida da população local. Porém, o manejo inadequado da irrigação para suprir as necessidades hídricas das culturas nessas regiões semiáridas tem ocasionado redução da capacidade produtiva dos solos, ocasionado pela salinização e/ou sodificação, originando com isso problemas agroeconomico (Leite et al., 2010). Aproximadamente 30% dos Perímetros Irrigados no Nordeste brasileiro estão com problemas de solos afetados por sais (Lopes et al., 2008).

A baixa precipitação pluviométrica e a alta taxa de evaporação favorecem a ocorrência do processo de salinização e/ou sodificação dos solos na região semiárida, já que os sais não são lixiviados, acumulando-se em grandes quantidades no solo e dificultando o desenvolvimento das plantas cultivadas nessa região. O excesso de salinidade no solo pode comprometer a disponibilidade de água e de nutrientes para as plantas, por afetar diretamente o potencial osmótico da solução do solo. O alto nível de sódio no solo pode ocasionar degradação da estrutura do solo, dispersão da argila, toxidez nas plantas e o impedimento da germinação das sementes e das raízes (Amorim et al., 2002; Smith et al., 2009).

O uso de água salina e solos com deficiência de drenagem contribuem para o aumento da concentração de sais solúveis no solo, podendo elevar o nível do lençol freático conseqüentemente a ascensão capilar, culminando com o excesso de sais na zona radicular (Ferreira et al., 2006).

A recuperação dos solos salinos, salino-sódicos e sódicos tem como principal objetivo a diminuição da concentração dos sais solúveis e do sódio trocável no perfil do solo, deixando o solo apto para agricultura. A salinidade do solo pode ser reduzida através do processo de solubilização e lixiviação dos sais perfil abaixo, já a diminuição da sodicidade requer a substituição do sódio trocável pelo cálcio oriundo do corretivo e que o produto dessa reação seja removido da zona das raízes por lixiviação (Barros et al., 2004).

Para recuperação de solos salino-sódicos e sódicos podem ser utilizados alguns tipos de corretivos, como: gesso, enxofre, sulfato de alumínio, cloreto de cálcio e ácido sulfúrico. Sendo o gesso a fonte de cálcio mais utilizado no Brasil, por apresentar menor custo, fácil manuseio e maior disponibilidade no mercado, quando comparado aos outros corretivos (Santos et al., 2005; Melo et al., 2008; Araújo et al., 2011).

As reservas de gessos mineral ou de jazida do território brasileiro ocorrem associadas as bacias sedimentares, dentre as quais se destaca a Bacia sedimentar do Araripe, que abrange os estados Piauí, Ceará e Pernambuco, sendo o polo de gesso mais produtivo do país. Pernambuco possui 18% das reservas de gesso de jazida exploradas (Accioly et al., 2003), sendo responsável por aproximadamente 90 % da produção nacional.

A quantidade de gesso necessário para reduzir a percentagem de sódio trocável dos solos salino-sódicos e sódicos pode ser calculada em função da percentagem de sódio trocável que se deseja substituir, da capacidade de troca de cátions do solo e da profundidade do solo a ser recuperada; ou pode ser determinada por um teste de laboratório envolvendo o equilíbrio entre o solo e uma solução saturada de gesso (Barros et al., 2004). Os métodos de laboratório baseiam-se em variações do método de Schoonover (1952) descrito por Richards (1954); entretanto, sais solúveis presentes no solo interferem na determinação da necessidade de gesso (NG), seguindo o procedimento de Schoonover. A modificação nesta metodologia, para eliminação da interferência de altos teores de cálcio e magnésio solúveis em solos salino-sódicos de Pernambuco, foi desenvolvida por Barros & Magalhães (1989).

Na Paraíba, estudos para a recuperação de solo salino-sódico utilizando a metodologia descrita por Barros & Magalhães (1989), Santos (1995) observou que a incorporação do gesso nas doses equivalentes a 50% e 100% da necessidade gesso (NG) foram eficiente na eliminação do excesso de sais e de sódio trocável. Segundo o autor faz-se necessário o ajustamento dos teores iônicos de Cálcio + Magnésio e Potássio do solo em relação aos nutrientes exigidos pelas plantas para que a produção agrícola não seja afetada.

Entretanto, o nível da NG mais adequado a ser aplicado em solos salino-sódicos e sódicos de Pernambuco, para que o processo de recuperação seja alcançado, e sua influência nas modificações das propriedades físicas dos solos depois da aplicação do corretivo para a correção da sodicidade, seguida de uma lâmina de lixiviação, ainda não foram estudadas.

Na literatura nacional são escassas as informações sobre algumas propriedades físicas como a estabilidade de agregados, o aumento da taxa de infiltração de água no solo e principalmente perda de colóides (mineral e orgânico) durante o processo de correção.

O presente trabalho teve como objetivo geral avaliar o efeito da aplicação de diferentes níveis da necessidade de gesso nas características físico-químicas e na correção dos solos salino-sódicos.

Os objetivos específicos foram:

- Avaliar o comportamento da Taxa de infiltração durante o processo de lixiviação e a concentração de sais e sódio solúveis e pH no lixiviado;
- Determinar a eficiência de níveis da necessidade de gesso na substituição do sódio trocável do complexo sortivo;
- Testar a eficiência da aplicação de gesso nas características físico-químicas de solos salino-sódicos depois da correção da salinidade e sodicidade.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Formação de solos afetados por sais

No mundo aproximadamente 560 milhões de hectares estão com problemas de salinidade e/ou sodicidade (Qadir et al., 2005). Nas regiões áridas e semiáridas do planeta são incorporado ao solo por ano em torno de três a cinco toneladas de sais pela irrigação (Smedama & Shiati, 2002). A expansão dessas áreas irrigadas vem sendo estimulada para suprir a necessidade de alimentos pela humanidade, aumentando ainda mais a degradação do meio agrícola, principalmente com problemas relacionados com sodicidade e salinidade (Lopes et al., 2008).

No Brasil, atualmente, existem três regiões que apresentam problemas com solos salinos, salino-sódicos e sódicas, são elas: regiões Sul (Rio Grande do sul), Centro-Oeste (Pantanal Mato-Grossense) e Nordeste (Semiárido) (Ribeiro, 2010). Segundo este mesmo autor, a área do Brasil afetada por sais tem cerca de 160.000 km², aproximadamente 2% do território nacional, onde 91.000 km² dos solos afetados estão localizados na Região Nordeste.

Os solos salinos, salino-sódicos e sódicos podem ocorrer em condição natural e induzida, a condição natural vem dos minerais primários que se encontram no solo e nas rochas expostas da crosta terrestre. Durante o processo de intemperização química, que implica em reações de hidrólise, hidratação, dissolução, oxidação e, carbonatação, os constituintes são liberados gradualmente e se tornam solúveis. A água transporta e acumula os produtos solúveis das reações de intemperização transferindo sais solúveis de uma área para outra, desempenhando importante papel na salinização e sodificação dos solos (Richard, 1954; Ferreira, 2002; Barros et al., 2006).

Na zona semiárida do Nordeste do Brasil as condições climáticas (déficit hídrico > 2000 mm ano⁻¹) não favorecem a lixiviação. Com evaporação superando e muito a precipitação, os sais solúveis resultantes da intemperização das rochas e minerais são dificilmente lixiviados, resultando em solos afetados por sais (Ferreira, 2002).

O processo induzido é o que apresenta o maior índice de salinização e degradação dos solos, problema este que vem afetando os Perímetros Irrigados da Região Nordeste. A água de irrigação utilizada contém sais solúveis em excesso, e seu uso constante e em quantidade insuficiente para a lixiviação dos sais, associado a uma drenagem inadequada, provoca com o tempo acúmulo de sais no perfil e na superfície do solo, reduzindo e interferindo no desenvolvimento vegetal e na produção agrícola (Freire et al., 2003; Melo et al., 2008).

2.2. Classificação de solos afetados por sais

No Brasil o sistema utilizado para a classificação de solos afetados por sais é baseado nas características propostas, por Richards (1954), de acordo com as características de condutividade elétrica (CE) do extrato da pasta de saturação e a percentagem de sódio trocável (PST). Conforme demonstrado na Tabela 1.

Tabela 1. Classificação de solos afetados por sais.

Tipo de solo	*CE (dS m ⁻¹)	*PST
Normal	< 4	< 15
Salino	≥ 4	< 15
Salino-sódico	≥ 4	≥ 15
Sódico	< 4	≥ 15

CE = Condutividade elétrica, PST = Percentagem de sódio trocável.

O sistema de classificação de solos afetados por sais e sódio da Austrália é diferente do adotado pelos Estados Unidos, Rengasamy & Olsson (1991) constataram a existência de três tipos de solos sódicos: solos sódicos alcalinos, solos sódicos neutros e solos ácidos. Naidu et al. (1995) relatam que os solos da Austrália são considerados salino-sódicos e sódicos quando apresentam o valor da PST > 6 % nos primeiros 1 m de profundidade do perfil do solo. Sumner (1995) relata que a estrutura do solo seria negativamente afetada com o valor da PST > 15 %, foi baseado em mensuração da condutividade hidráulica usando água de concentração de sais (3 a 10 mmol_c L⁻¹) mais elevada que a usada em experimentos por pesquisadores australianos (0,7 mmol_c L⁻¹). Como consequência foi adotado pelos Estados Unidos um valor de PST mais elevado que o da Austrália.

A alta salinidade e o elevado teor de sódio trocável dos solos são fatores que vão ocasionar diminuição na produtividade, gerando sérios problemas de ordem econômica, pois esses solos se tornam inaptos para agricultura, sendo descartados do sistema de produção (Barros et al., 2005 a).

A alta concentração de sais solúveis leva a redução do potencial osmótico da solução do solo, dificultando processo de absorção de água pelas plantas, causando desbalanço nutricional e afetando o desenvolvimento das culturas (Freire et al., 2003). Quando não se apresenta excesso de salinidade, e o sódio é o íon predominante, observa-se toxidez nas

plantas, dispersão da argila e desestruturação dos solos tornando-os impermeáveis (Ruiz et al., 2004). Avaliando o efeito da salinidade em características físico-hídricas em solos salino-sódicos no Perímetro Irrigado Jabiberi-SE, Machado et al. (2007), verificaram que a condutividade elétrica, a porcentagem de sódio trocável, a condutividade hidráulica e a velocidade de infiltração básica são afetadas pela salinidade dos solos.

2.3. Recuperação de solos afetados por sais

2.3.1. Solos salinos

O método mais eficaz para a remoção dos sais solúveis do solo é a lixiviação. A técnica recomenda a aplicação de água em quantidade suficiente para dissolver e transportar os sais solúveis da zona das raízes para camadas mais profundas do solo ou para o sistema de drenagem. A profundidade de recuperação do solo depende do tipo de cultura que se deseja explorar. Para culturas de sistema radicular superficial, a recuperação da profundidade poderá ser de 60 cm; no entanto, se a cultura a ser explorada apresenta um sistema radicular profundo, o solo deverá ser corrigido para uma profundidade aproximadamente de 2,00 m (Barros et al., 2005 b).

A recuperação dos solos salinos segundo Pizarro (1985) pode ser feita pelo método de **Lixiviação contínua**, onde é adicionada água a ponto de cobrir a superfície do solo com uma lâmina de 10 cm de altura pela adição frequente de água, permitindo que os sais sejam removidos mais rapidamente e que o cultivo seja feito mais cedo. Este tipo de lavagem é recomendado para solos de boa permeabilidade, lençol freático profundo e alta taxa de evaporação; e pelo método de **Lixiviação intermitente**, cuja prática é mais recomendada para solos com baixa capacidade de drenagem, lençol freático elevado e água subterrânea de baixa salinidade, o qual deve ser aplicado nos períodos de baixa taxa de evaporação.

Ferreira (2002) cita algumas normas a serem observadas para obtenção de um maior êxito no processo de lixiviação como: **a)** lixiviar os sais preferencialmente durante a estação fria, quando a evapotranspiração da cultura é mais baixa; **b)** cultivar espécies mais tolerantes à salinidade, por implicar em menor necessidade de lixiviação e conseqüentemente maior economia de água; **c)** preparar o solo de modo a diminuir o escoamento superficial e obstruir as fendas por onde poderia penetrar muita água diminuindo, assim a eficiência de lixiviação; **d)** irrigar por aspersão com intensidade de aplicação menor que a velocidade de infiltração básica. Isto resulta no escoamento não saturado, o qual é mais eficaz do que o saturado, no processo de lixiviação; **e)** preferir a prática de inundação intermitente à contínua por permitir

uma lixiviação mais eficiente, isto é, consumindo menos água, embora requeira mais tempo; **f)** evitar períodos prolongados sem irrigar a área, isto pode favorecer uma rápida salinização secundária, proveniente de um lençol freático alto, principalmente durante as estações secas e quentes; **g)** em solos com velocidade de lixiviação muito baixa, as lixiviações não devem coincidir com o ciclo fenológico da cultura; **h)** preparar adequadamente o leito para semeadura ou plantio e dispor as sementes ou mudas nas faixas onde ocorrem as menores acumulações dos sais.

A água adicional empregada para a lixiviação dos sais é chamada de necessidade de lixiviação (NL). Para estimar a necessidade de lixiviação, é necessário conhecer a salinidade da água de irrigação e o teor máximo de sais permitido na zona radicular (Richards, 1954). A lixiviação de sais pode ser influenciada pelo volume, qualidade de água e pela frequência da aplicação de lâminas de lixiviação no solo (Sharma & Manchanda, 1996).

A adequação da quantidade e da qualidade de água utilizada para irrigação depende do tipo de solo e cultura a ser implantado. Os solos de baixa permeabilidade restringem a lixiviação de sais, intensificando a salinização do mesmo (Barros et al., 2005 a). O volume de água necessário e o tempo requerido para lixiviação dependem de vários fatores como, tipo de sais, qualidade da água de lixiviação, permeabilidade do solo, eficiência do sistema de drenagem, profundidade a ser lixiviada e do tipo de lavagem empregada (Melo, 2005 e Ruiz & Sampaio, 2009).

Öztürk & Özkan (2004) sugerem que os intervalos e os métodos de lixiviação devem ser planejados de acordo com o tipo de íons predominantes no solo e recomendam práticas que reduzam a evaporação de água em solos ricos em cloreto.

Estudos realizados por Barros et al. (2005 b) e Leite et al. (2010), indicam que a lixiviação com uma lâmina correspondente a duas e meia vezes o volume de poros do solo, foi suficiente para eliminar a maior parte dos sais do perfil de solo. Este efeito também foi observado por Leite et al. (2007) aplicando 100% da necessidade de gesso (NG) em dois solos salino-sódicos da Paraíba. Os autores observaram uma redução na PST do solo de 47,03% e 52,85% para valores <5% nos dois solos respectivamente.

Ruiz et al. (2004), trabalhando com solos salino-sódicos do Ipanguaçu-RN, com aplicação da lâmina de lixiviação, equivalente a três vezes o volume de poros, aplicado em uma única vez e dividido parceladamente em duas, quatro e seis vezes, constataram reduções da percentagem de sódio trocável e da condutividade elétrica do extrato de saturação são em geral, mais acentuadas quando a lâmina de lixiviação é parcelada. Entretanto, Ruiz et al. (2006), observaram que lâminas parceladas não interferem na dispersão da argila, retenção de água e infiltração de água em solos salinos sódicos.

2.3.2. Solos salino-sódicos e sódicos

Na recuperação de solos salino-sódicos e sódicos, o excesso de sódio trocável deve ser substituído pelo cálcio, seguida da aplicação de lâmina de lixiviação. Nesse caso, há necessidade do uso de um corretivo químico a base de cálcio, de preferência, que o disponibilize através de reação química, como, por exemplo: o gesso (Costa et al., 2004; Leite et al., 2010). Neste sentido, a recuperação desses solos tem como finalidade a redução da concentração dos sais solúveis e do sódio trocável no perfil do solo, a um nível que não interfira no desenvolvimento das plantas cultivadas (Barros et al., 2004).

A escolha do corretivo a ser utilizado deve ser levado em consideração alguns fatores, como: as propriedades químicas e físicas do solo, o tempo previsto para recuperação, a quantidade de água utilizada na lixiviação, a capacidade de drenagem do solo e, principalmente, os custos envolvidos no uso do corretivo, da água aplicada e na aplicação de ambos (Barros, 2001).

Vários são os corretivos que podem ser utilizados na correção do excesso de sódio trocável, dentre eles estão: gesso, enxofre, sulfato de alumínio, cloreto de cálcio e ácido sulfúrico como corretivos. Sendo o gesso o mais utilizado, por apresentar um fácil manuseio e um baixo custo em relação aos demais (Melo et al., 2008).

Algumas características do gesso como o tamanho das partículas e o método de aplicação, vão determinar a extensão e a rapidez do processo de recuperação do solo, ou seja, quanto menor for o diâmetro da partícula do corretivo maior será sua solubilidade, porque a área de contato das partículas com a água será maior, aumentando a sua solubilidade e reatividade, reduzindo o tempo requerido para recuperação.

A variação da concentração de cálcio na solução do solo depende tanto da taxa de dissolução quanto do tempo de contato de água com o gesso (Ruiz et al., 2006). Deste modo, o aumento da velocidade de infiltração da água no solo, aumenta a taxa de dissolução, porém diminuirá o tempo de contato da água com o gesso. O equilíbrio dinâmico ocorre quando a velocidade de água é menor do que a taxa de liberação do sulfato e cálcio e, ou, quando a área superficial das partículas é menor para que se possa alcançar o equilíbrio durante a lixiviação.

2.4. Efeito da aplicação do gesso nas características físico-químicos dos solos

No Nordeste brasileiro, o gesso pode ser encontrado na região do Araripe, localizado na divisa dos estados de Pernambuco e Ceará. O gesso geralmente, ocorre na forma dihidratada ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), embora a semi-hidratada ($\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$) e a anidra (CaSO_4) sejam também

encontradas naturalmente. Os depósitos de gesso podem apresentar impurezas de carbonatos de cálcio e magnésio, sais de sulfato, assim como óxidos de cálcio, de magnésio e de ferro (Ribeiro et al., 2009).

A digestão de rocha fosfática, pelo processo de acidulação, ocasiona um subproduto, o gesso agrícola. Esse gesso é coletado como resíduo e é utilizado com bastante êxito na recuperação de solos salino-sódicos e sódicos. A eficiência do gesso como corretivo é dependente da dissolução. Alguns dos fatores que influenciam a taxa de dissolução do gesso no solo são a granulométrica das partículas do gesso e o método de aplicação do corretivo (Barros et al., 2004).

A quantidade do corretivo necessária para a recuperação de solos afetados com sódio pode ser calculada em função da percentagem de sódio trocável que se deseja substituir, da capacidade de troca de cátions do solo e da profundidade do solo a ser recuperada através de tabelas ou fórmulas ou determinada por método de laboratório que envolve o equilíbrio entre o solo e uma solução saturada de gesso (Barros et al., 2006).

O método da determinação da necessidade de gesso descrito e recomendado como padrão pela EMBRAPA (1997) é a metodologia de Schoonover (1952). Entretanto, Barros e Magalhães (1989), citam que os sais solúveis, cálcio e magnésio presentes no solo interferem na determinação da necessidade de gesso utilizando o método de Schoonover, os autores sugerem que esta interferência seja eliminada, determinando a concentração de cálcio e magnésio extraído com água, sendo esse valor subtraído da concentração de cálcio + magnésio determinada pela metodologia de Schoonover.

Trabalhos como o de Santos (1995) e o de Tavares Filho (2010), trabalhando na recuperação de um solo salino-sódico e sódico da Paraíba e de Pernambuco respectivamente, constaram que a quantidade de gesso aplicada ao solo utilizando a metodologia proposta por Barros & Magalhães (1989), mostrou-se eficiente na eliminação do sódio trocável, deixando o solo em condições favoráveis para a prática agrícola.

Estudos realizados por Zia et al. (2007), constataram que a incorporação de gesso no solo, é mais eficiente na correção da sodicidade do que colocado na superfície do solo, isso se deve por uma maior solubilização do gesso incorporado, aumentando assim a eficiência da substituição do sódio trocável. Barros et al. (2009), trabalhando com solos salino-sódicos de Custódia-PE, relataram que o cálcio advindo do gesso incorporado ao solo substituiu o sódio no complexo sortivo corrigiu a PST para valores inferiores a 15%. Ruiz et al. (2004), trabalhando com solo salino-sódico em colunas, observaram que a aplicação de gesso teve influência significativa na redução da PST do solo.

De acordo com Sumner (1995) para a recuperação de um solo sódico dois aspectos são de fundamental importância: a redução do sódio trocável e o aumento na concentração eletrolítica. O que manterá as argilas flocculadas fazendo com que a taxa de infiltração de água no solo não decresça a condutividade hidráulica, acelerando com isso a recuperação do solo.

2.5. Efeito de sais e sódio trocável nas propriedades físicas dos solos

No processo de recuperação dos solos salino-sódicos, a remoção imediata dos sais, que mantêm a permeabilidade destes solos, pode acarretar a dispersão de argila e a imediata redução da condutividade hidráulica do solo. As propriedades hidráulicas desses solos podem ser mantidas inalteradas, durante a recuperação, com a aplicação de água de média a elevada concentração salina desde que o cátion dominante não seja sódio, em razão do efeito flocculante dos sais sobre as argilas.

O efeito dos sais de sódio sobre a estrutura do solo ocorre, basicamente, pela interação eletroquímica existente entre os íons formadores de sais e a argila. Como característica principal deste efeito, tem-se a expansão da argila quando úmida e a contração quando seca, mediante o excesso de sódio trocável. Caso a expansão da argila ocorra de forma muito intensa, poderá ocorrer a fragmentação das partículas, causando a dispersão da argila e modificando a estrutura do solo (Dias & Blanco, 2010).

Nos solos salinos a presença de sais em excesso e a ausência de quantidades apreciáveis de sódio trocável, proporciona a flocculação dos colóides, sendo esta a causa da boa estrutura desses solos. Os solos salino-sódicos apresentam sais solúveis suficiente para manter favoráveis as condições de permeabilidade e estabilidade (Ruiz et al., 2004 e Freire et al., 2003). Os solos sódicos são caracterizados pela presença de quantidades excessivas de sódio no complexo de troca, que promove a dispersão das argilas e a degradação da estrutura, reduzindo a permeabilidade desses solos à água e ao ar (Barros, 2001).

Ruiz et al. (2006), avaliando a influência do parcelamento da lâmina de lixiviação sobre as características físicas de solos salino-sódicos, que receberam gesso na camada superficial, constataram que as aplicações do gesso, seguida da aplicação de lâminas de lixiviação reduziram a dispersão das argilas dos solos salino-sódicos em estudos. Minhas et al. (1999), verificaram que, devido a lixiviação parcial dos sais do solo, podem ocorrer início da dispersão das argilas e posteriormente transportadas para camadas mais inferiores do solo. Porém, Boivin et al. (2004) estudando solos afetados por sódio, cultivados com arroz em tabuleiros inundados no nordeste da Tailândia, observaram que a dispersão da argila é controlada pela concentração de íons solúveis como Na^+ .

Avaliando o efeito da irrigação suplementar com água contendo carbonato de sódio no diagnóstico e na correção de solos salino-sódicos, Ghiberto et al. (2007) relatam que a redução dos valores de condutividade hidráulica está negativamente associada ao grau de dispersão das argilas e pela destruição dos macroporos do solo. De acordo com Mesquita & Moraes (2004) a condutividade hidráulica saturada de um solo é dependente da forma, quantidade, distribuição e continuidade dos poros preenchidos com água, sendo que a redução da condutividade hidráulica é mais dependente da estrutura do que da textura do solo. A condutividade hidráulica saturada do solo pode reduzir, devido ao decréscimo de sais na solução do solo durante o processo de correção (Kolahchi & Jalali 2003).

2.5.1. Estabilidade de Agregados

No estudo da estabilidade de agregados busca-se expressar os dados relativos à distribuição de agregados por tamanho por um simples índice, com o propósito de testar diferenças no comportamento dos solos ou entre os tratamentos a que fora submetido o solo, bem como correlacioná-los com a produção das culturas. Assim, a estabilidade de agregados pode ser expressa por tais índices: diâmetro médio geométrico (DMG); diâmetro médio ponderado (DMP); percentagem de estabilidade de agregados (PEA), dentre outros (Ferreira, 2010).

A estabilidade de agregados é um dos parâmetros físicos do solo fundamental para as atividades agrícolas, pois está relacionada à estruturação dos solos, aos espaços porosos, a variação do tamanho dos poros, a permeabilidade à água e ao ar, retenção de água e na resistência do solo à penetração das raízes. Estudos sobre estabilidade de agregados busca avaliar a ação de forças responsáveis pela destruição dos agregados do solo, estando elas relacionadas com o cultivo do solo, erosão, umedecimento do solo e principalmente cátion dominante, se agregante como por exemplo Ca^+ ou dispersante como o Na^+ .

Segundo Albuquerque et al. (2002) a estabilidade estrutural depende da mineralogia, textura, proporção e concentração de cátions, substâncias orgânicas, sílica, óxidos e hidróxidos. Já a agregação do solo é resultado da aproximação das partículas primárias de areia, silte e argila. A argila vai exercer o domínio sobre os processos físico-químicos e biológicos, que são fatores importantes para a flocculação, cimentação e arrançamento das partículas, presentes no solo em virtude da sua pequena dimensão (Dufranc et al., 2004 e Melo et al., 2008).

As estruturas formadas no solo podem sofrer alterações do meio, como por exemplo: o efeito dos íons trocáveis, principalmente os cátions presentes; a quantidade e a atividade de

matéria orgânica; a quantidade relativa e atividade dos colóides inorgânicos do solo (material finamente dividido de partículas de argila e os óxidos de ferro e de alumínio). Em solos salino-sódicos e sódicos a presença de elevado teor de sódio trocável ocasiona a destruição da estrutura do solo. Por isso é de suma importância a aplicação de gesso em solos salino-sódicos e sódicos, para ocorrer a remoção do sódio, ocasionando com isso o aumento da quantidade e da resistência dos agregados e proporcionar uma maior condutividade hidráulica e uma lixiviação dos sais.

Qadir et al. (2005), observaram que solos afetados por sais e por excesso de sódio trocável apresentam condições inadequadas para a prática da agricultura devido aos efeitos deletérios nas propriedades do solo, como exemplo, a estabilidade de agregados e a infiltração da água. Em uma revisão de literatura, Bronick & Lao (2005), comentam que a estrutura do solo é frequentemente expressa como o grau de estabilidade de agregados. A agregação é resultante do rearranjo, floculação e cimentação das partículas do solo, este processo é realizado pelo carbono orgânico do solo, biota, ligantes iônicos e argila. O carbono orgânico do solo aumenta a agregação em ambientes áridos e semiáridos e a formação de carbonatos secundários é influenciada pela presença de carbono orgânico e teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} . A biota do solo disponibiliza CO_2 e formas de carbono orgânico os quais aumentam a solubilidade de carbonatos primários, enquanto que os cátions Ca^{2+} e Mg^{2+} aumentam a precipitação de carbonatos secundários. A precipitação de óxidos, fosfatos e carbonatos aumentam agregação. Cátions como Si^{4+} , Fe^{3+} , Al^{3+} e Ca^{2+} estimulam a precipitação de componentes que agem como agentes cimentantes das partículas primárias do solo.

Leagdsmand et al. (2005) relatam que a mudança da concentração eletrolítica da água de lixiviação modificou a permeabilidade de solos arenoso acondicionados em colunas. Essa mudança provavelmente foi devido a expansão e concentração dos minerais de argilas nos agregados. Os autores citam que o teor de matéria orgânica de 3,6% em um dos solos, inibiu a expansão de minerais de argila nos agregados, facilitando assim uma melhor permeabilidade do mesmo.

Alguns autores afirmam que 100% da necessidade gesso é suficiente para reduzir a dispersão das argilas e a RAS; aumentando a taxa de infiltração e a lixiviação dos sais (Qadir et al., 1996; Melo et al., 2008). Avaliando a aplicação de gesso incorporado em um solo salino-sódico da Paraíba sobre a formação da estabilidade de agregados, Silveira et al. (1999) observaram uma tendência de formação de novos agregados mais estáveis e o aumento substancial da condutividade hidráulica do solo.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Descrição da área

As amostras de solos em estudos foram provenientes de uma área localizada no Perímetro Irrigado de Ibimirim, estado de Pernambuco a 333 km da cidade de Recife, as coordenadas geográficas estão a latitude 08°32'26" Sul, longitude 37°41'25" Oeste a 401 metros de altitude, com uma área de 2.033,593 km², limitando-se ao norte com os municípios de Sertânia e Custódia, ao sul com Inajá e Manari e a leste com Tupanatinga. O município localiza-se na região semiárida de Pernambuco, fazendo parte da microrregião do Sertão do Moxotó com uma área total de 8.929 km² (Silva, 2006).

O clima de Ibimirim é o semiárido quente, ou BSh segundo a classificação do Köppen, com duas estações a chuvosa no período de dezembro a maio e a seca de agosto a outubro, com a menor precipitação em setembro, apresentando valores médios de precipitação pluvial de aproximadamente 500 mm ano (Temóteo, 2000).

3.2. Área de coleta do Solo

Os dois solos (S1 e S2) foram coletados em lotes do Perímetro Irrigado de Ibimirim, que apresentam problemas de sais e sódio trocável. Foram descritas por Ribeiro et al. (1999) como Neossolos Flúvicos e a descrição do perfil encontra-se em anexo.

A coleta da amostragem foi realizada segundo procedimento descrito por Oliveira & Resende (1990) adaptado por Barros (2001). As duas áreas foram dividida em cinco quadrantes, sendo retiradas cinco amostras simples por quadrantes, da camada 0-40 cm, uma situada no meio da área e os demais distribuídos conforme os pontos cardeais. As cinco amostras simples foram misturadas formando uma amostra composta por quadrante, depois foram misturadas as amostras compostas dos quadrantes formando uma única amostra por área.

3.3. Preparo e caracterização física e química do solo

As amostras de solos coletadas foram secas ao ar, destorroadas e passadas em peneira com abertura de 2 mm de malha. Antes do processo de destorroamento, foram separados amostras do solo não deformadas (torrões) para obtenção da densidade do solo.

As análises de caracterização física e química foram realizadas no Laboratório de Física e Química do Solo do Departamento de Agronomia da Universidade Federal Rural de Pernambuco.

A caracterização física foi realizada seguindo metodologia descrita pela EMBRAPA (1997), sendo determinada a densidade do solo pelo método do torrão parafinado; a densidade das partículas de acordo com o método do balão volumétrico; a composição granulométrica (areia, silte e argila), após lavagem do solo com etanol a 60% até eliminação total de cloretos, utilizando o método do densímetro (Tabela 2).

Na Tabela 3 foram analisadas as características físico-hídricas, como: a taxa de infiltração (TI) seguindo a metodologia descrita pela EMBRAPA, determinada em laboratório usando amostras deformadas; porosidade total (PT); a argila dispersa em água utilizando a metodologia descrita por Boyoucos (1962); a estabilidade de agregados foi analisada por via úmida, foram usadas peneiras com 2,00; 1,00 e 0,50 mm de abertura de malha para determinar os seguintes parâmetros: percentagem de estabilidade de agregados (PEA) usando a metodologia da EMBRAPA (1997), o diâmetro médio ponderado (DMP) pelo método Castro Filho (1998) e o diâmetro médio geométrico (DMG) pelo método Mazurak (1950), cujos os diâmetros médios eram, respectivamente, 3,0; 1,5 e 0,75 mm das amostras de solo.

Os valores obtidos usados para o cálculo do TI, PT, DMP, DMG e PEA, Foram dadas pelas expressões:

$$TI = \frac{\Delta q}{\Delta t} \quad (Eq. 01)$$

em que:

TI = Taxa de infiltração;

Δq = Volume do infiltrado em ml;

Δt = Tempo em horas.

$$PT = 100 \times \frac{(D_s - D_p)}{D_s} \quad (Eq. 02)$$

em que:

D_s = Densidade do solo;

D_p = Densidade das partículas.

$$DMP = \sum_{i=1}^n (x_i \times w_i) \quad (Eq. 03)$$

em que:

w_i = Proporção de cada classe em relação ao total;

x_i = Diâmetro médio das classes (mm).

$$DMG = EXP \frac{\sum_{i=1}^n x_i \times \ln w_i}{\sum_{i=1}^n w_i} \quad (Eq. 04)$$

em que:

w_p = massa total das amostras retidas nas classes.

$$PEA = 100 \times \frac{(Pa - Pmi)}{Pta} \quad (Eq. 05)$$

em que:

Pa = Percentagem de agregados via úmida (>0,5mm);

Pmi = Percentagem de material inerte (>0,5mm);

Pta = Percentagem total de agregados (> 0,5 mm).

A caracterização química foi realizada após obtenção do extrato de saturação segundo metodologia descrita por Barros (1986). No extrato da pasta saturada foram determinadas a condutividade elétrica e os cátions solúveis: cálcio e magnésio por absorção atômica, sódio e potássio por fotometria de chama. Os valores da relação de adsorção de sódio (RAS) foram obtidos a partir dos resultados de sódio, cálcio e magnésio solúveis, a caracterização do solo no extrato da pasta de saturação está na Tabela 4.

$$RAS = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{(Ca^{2+} + Mg^{2+})}{2}}} \quad (Eq. 06)$$

em que:

RAS = Relação de adsorção de sódio, $(mmol L^{-1})^{1/2}$;

Na^+ = Concentração de sódio solúvel, $mmolc L^{-1}$;

Ca^{2+} = Concentração de cálcio solúvel, $mmolc L^{-1}$;

Mg^{2+} = Concentração de magnésio solúvel, $mmolc L^{-1}$.

A Tabela 5 mostra a capacidade de troca de cátions (CTC), determinada pelo método do acetato de sódio; os cátions trocáveis foram extraídos com uma solução de acetato de amônio 1 mol L^{-1} a pH 7,0; o pH dos solos foi determinados na relação solo-água 1:2,5 (Richards, 1954); Também determinou-se sódio, potássio, cálcio e magnésio trocáveis segundo Richards (1954). Com os valores obtidos de sódio trocável e da CTC, foi calculada a percentagem de sódio trocável (PST), pela equação:

$$PST = \frac{Na^+}{CTC} \times 100 \quad (\text{Eq. 07})$$

em que:

PST = Percentagem de sódio trocável, %;

Na^+ = Concentração de sódio trocável, $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$;

CTC = Capacidade de troca de cátions, $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$.

Tabela 2- Característica física das amostras dos solos

Solos	Dp	Ds	Análise Granulométrica			Classificação Textural
			Areia	Silte	Argila	
	---- kg dm^{-3} ----		----- g gk^{-1} -----			
S1	2,52	1,36	139,10	562,00	298,90	Franco-argilo-siltoso
S2	2,45	1,45	342,00	415,45	242,55	Franco

Dp - Densidade da Partícula; Ds – Densidade do solo.

Tabela 3- Características físico-hídricas das amostras dos solos

Solos	TI	PT	GD	Estabilidade de agregados		
				DMP	DMG	PEA
	cm h^{-1}	-----%-----		mm	mm	---%---
S1	0,0	46,03	80,50	0,05	1,23	19,77
S2	0,0	40,82	69,40	0,06	2,37	47,65

TI – Taxa de infiltração; PT- Porosidade Total; GD- Grau de dispersão; DMP- Diâmetro médio ponderado; DMG- Diâmetro médio geométrico e PAE- Índice de estabilidade de agregados.

Tabela 4- Características do extrato da pasta de saturação dos solos

Solos	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^+	K^+	CE	RAS
	----- $\text{mmol}_c \text{ L}^{-1}$ -----				dS m^{-1}	mmol L^{-1}
S1	136,51	8,39	489,36	3,30	60,61	57,49
S2	69,40	5,63	291,65	3,71	36,16	47,62

CE- Condutividade elétrica; RAS – Relação de Adsorção de sódio.

Tabela 5- Características químicas das amostras de solos

Solos	Cátions Trocáveis				NG	CTC	PST	pH	Matéria Orgânica
	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺					
	-----cmol _c dm ⁻³ -----						%		dag kg ⁻¹
S1	3,28	1,28	8,13	0,85	9,38	13,52	60,01	7,18	0,82
S2	2,89	1,16	4,75	0,82	7,19	9,62	49,38	7,10	1,58

Na⁺ - sódio trocável; NG - Necessidade de Gesso; CTC- Capacidade de troca de catiônica; PST - Percentagem de sódio trocável.

3.4. Determinação da necessidade de gesso

A determinação da necessidade de gesso (NG) foi realizada segundo metodologia Schoonover M-1 foi descrita por Barros & Magalhães (1989).

O gesso utilizado foi extraído da jazida localizada em Araripina-PE, contendo 32,20 % de CaO e 0,50 % de MgO. Apresentando as frações granulométricas do gesso (Tabela 6), neste estudo foi utilizado a fração granulométrica de partículas < 0,3 mm de diâmetro.

Tabela 6 – Frações Granulométrica do gesso

Malha da peneira	Diâmetro	Retido
	Mm	%
09	>2,00	3,95
09 - 16	2,00 – 1,00	12,80
16 – 32	1,00 – 0,50	13,68
32 - 48	0,50 – 0,30	21,59
48	< 0,30	37,98

3.5. Experimento em laboratório

O experimento foi conduzido no Laboratório de Mecânica do Solo e Aproveitamento de Resíduos, do Programa de Pós-Graduação de Engenharia Agrícola da UFRPE, em Recife, Pernambuco.

3.6. Preparo das unidades experimentais

As unidades experimentais foram constituídas de tubos plásticos de PVC com 10 cm de diâmetro e 30 cm de altura, tendo uma das extremidades fechadas com um tampão, no centro

do qual foi adaptada uma torneira de 3/8 de polegada. Cada coluna de solo foi dividida em duas camadas, cada uma com 12,5 cm de altura, o solo foi acondicionado nas colunas de modo a aproximar do valor da densidade do solo em condições de campo.

As unidades experimentais foram preenchidas inicialmente com solo da camada de 12,5 - 25 cm e posteriormente da camada de 0 - 12,5 cm. O gesso foi incorporado na primeira camada antes do seu acondicionamento, o corretivo utilizado foi um produto comercial, extraído da jazida localizada em Araripina-PE.

No sistema de aplicação de lâminas de água foram utilizadas garrafas pets (2 litros) com abertura na tampa de aproximadamente 1,00 cm de diâmetro, por onde passava a água destilada, com o objetivo de manter um nível constante de dois centímetros de coluna de água acima da superfície do solo. O fundo das colunas existia um recipiente (garrafa pet 0,5 litros) para coletar a água de drenagem, nos recipientes foram feitas marcações de 100 mL para poder fazer a leitura da condutividade hidráulica (Figura 1).



Figura 1- Sistema de aplicação das lâminas de lixiviação e coleta de lixiviado nas colunas de PVC para correção de solo salino-sódico.

3.7. Descrições dos tratamentos

Os tratamentos consistiram na aplicação de gesso em quantidades equivalentes a 50, 100, 150, 200 e 250% da necessidade de gesso dos solos.

3.8. Condições do ensaio de laboratório

A capacidade de recipiente (colunas de PVC) foi determinada conforme a metodologia proposta por Casaroli & Jong van Lier (2008). Inicialmente as colunas de solo foram saturadas por fluxo ascendente. Em seguida foram cobertos com papel filme para evitar perdas de água por evaporação, e colocadas para drenar livremente, tendo sido feitas medidas de suas massas nos tempos: zero, e após 24, 36, 48, 60 e 72 h, Calculada pela equação a seguir:

* Peso da coluna de PVC + Solo úmido (A).

* Peso da coluna de PVC + Solo Seco (B).

* Capacidade de recipiente = A – B.

As colunas foram saturadas e mantidas nessa umidade por um período de 24 horas, cobertas com papel filme para evitar perdas por evaporação. Depois desse período foram aplicadas três lâminas de lixiviação, com um intervalo de cinco dias entre as lâminas de lixiviação de 95,60 mm, sendo cobertas com papel filme durante esse período. A cada aplicação foi coletado 100 mL da água de drenagem e marcado o tempo para calcular a condutividade hidráulica e taxa de infiltração do solo. No Lixiviado foram determinados o sódio solúvel, a condutividade elétrica e o pH.

Para determinação dos valores da condutividade hidráulica do solo, é necessário manter uma carga hidráulica (h) constante, a água percolada neste período foi coletada e o seu volume medido, conforme foi descrito anteriormente.

Em seguida ao período da lixiviação, os solos de cada coluna foram seco ao ar, destorroados e passados em peneira de 2 mm de abertura, depois foram determinada, a CE; os cátions solúveis no extrato da pasta saturada; sódio trocável; argila dispersa em água e estabilidade de agregados de acordo com a metodologias descritas anteriormente. Com os dados de sódio trocável e a CTC, quantificou o valor da percentagem de sódio trocável (PST), utilizando as metodologias descritas anteriormente.

3.9. Delineamento experimental

Os tratamentos foram dispostos em delineamento blocos casualizado com arranjo fatorial 2 x 5 (dois solos x cinco níveis de necessidade de gesso), com cinco repetições, totalizando 50 (cinquenta) unidades experimentais.

3.10. Análise estatística

Os dados obtidos foram submetidos a análise de regressão, utilizando o modelo com maior coeficiente de determinação e a significância dos coeficientes da equação de regressão, a análise de variância foi realizadas com auxílio do programa STATISTIX® versão 9.0 (analytical software, Tallahassee), pelo teste de Tukey com 5% de probabilidade de erro.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Condutividade Elétrica, Sódio Solúvel e pH no lixiviado

A condutividade elétrica (CE) e a concentração do sódio solúvel no lixiviado apresentaram comportamentos semelhantes nas três lâminas de aplicação. A primeira lâmina apresentou uma CE muito elevada, diminuindo na segunda e terceira lâminas, nesta última a redução foi de aproximadamente 87% para o solo (S1) e de 82% para o solo (S2) (Tabela 7).

A CE do primeiro lixiviado quando comparada com a CE do extrato de saturação dos solos, apresentou uma concentração maior de sais, isso ocorreu pela aplicação crescente dos níveis de gesso que proporcionou um acúmulo de sais no lixiviado. Esses dados são coerentes com os apresentados por Barros et al. (2007). Em estudo feito em laboratório com colunas de solo esses autores relataram que o primeiro lixiviado coletado das colunas que receberam 100% da necessidade de gesso (NG) apresentaram uma maior salinidade, quando comparado a CE do segundo percolado das colunas de solo.

O segundo e o terceiro lixiviado apresentaram CE bem mais baixas que a do primeiro lixiviado (Tabela 7), isso ocorre provavelmente devido à diminuição do efeito da solubilização do gesso associada a lâminas de lixiviação aplicadas às amostras de solos. Este efeito foi semelhante ao encontrado por Silveira et al. (2008) trabalhando com correção da sodicidade de solos irrigados em respostas à aplicação de gesso, esse autores observaram que os primeiros lixiviados coletados das colunas de solo apresentavam os maiores valores de CE, decrescendo drasticamente até se igualar a CE da água usada na irrigação.

Tabela 7 – Resultados da média de Condutividade Elétrica (CE), Sódio solúvel (Na^+) e pH dos lixiviados

Solos	NNG	CE			Na^+			pH		
		1 VP	2 VP	3 VP	1 VP	2 VP	3 VP	1VP	2 VP	3 VP
		-----dS m ⁻¹ -----			-----mmol _c L ⁻¹ -----					
S1	50	55,87	13,46	5,76	342,59	94,62	32,85	7,15	7,52	7,68
	100	60,65	15,81	6,48	373,61	139,83	38,13	7,19	7,55	7,77
	150	63,26	16,58	6,93	402,95	142,73	47,50	7,22	7,66	7,94
	200	64,66	18,09	7,57	411,24	152,51	49,52	7,26	7,70	8,06
	250	66,37	21,79	8,32	451,19	175,78	51,05	7,35	7,74	8,12
S2	50	35,80	8,47	2,85	209,52	113,38	42,51	6,91	7,17	7,54
	100	36,37	11,83	3,66	241,73	127,19	50,12	7,07	7,26	7,63
	150	36,64	15,55	4,36	249,37	129,09	56,16	7,15	7,29	7,71
	200	36,95	17,45	4,66	271,38	131,23	58,49	7,23	7,38	7,77
	250	37,19	20,67	6,41	281,27	139,06	61,20	7,30	7,41	7,89

S1- Solo Franco-argilo-siltoso; S2- Solo Franco; NNG- Níveis de necessidade de gesso, VP- Volume de poro.

A relação entre a CE do lixiviado e os níveis de NG dos solos para as lâminas de lixiviação (1, 2 e 3 volumes de poros) estão apresentadas nas Figuras 2, 3 e 4. Observa-se um aumento da CE dos lixiviados com o aumento dos níveis de NG aplicado, sendo a lâmina igual 1 VP a que apresentou os maiores valores de CE no lixiviado. Pode-se constatar comportamento semelhante quando foi aplicado as lâminas 1 e 3, com altos coeficientes de determinação entre os níveis da necessidade de gesso e a CE do lixiviado ($R^2 = 0,95^*$ e $0,99^*$). Para a lâmina igual a 2 volumes de poros o comportamento da concavidade da curva foi diferente para o solo S1 e S2 (figura 3) esses resultados são possivelmente devidos a diferença texturais dos solos (Franco-argilo-siltoso e Franco), se ajustando ao modelo quadrático.

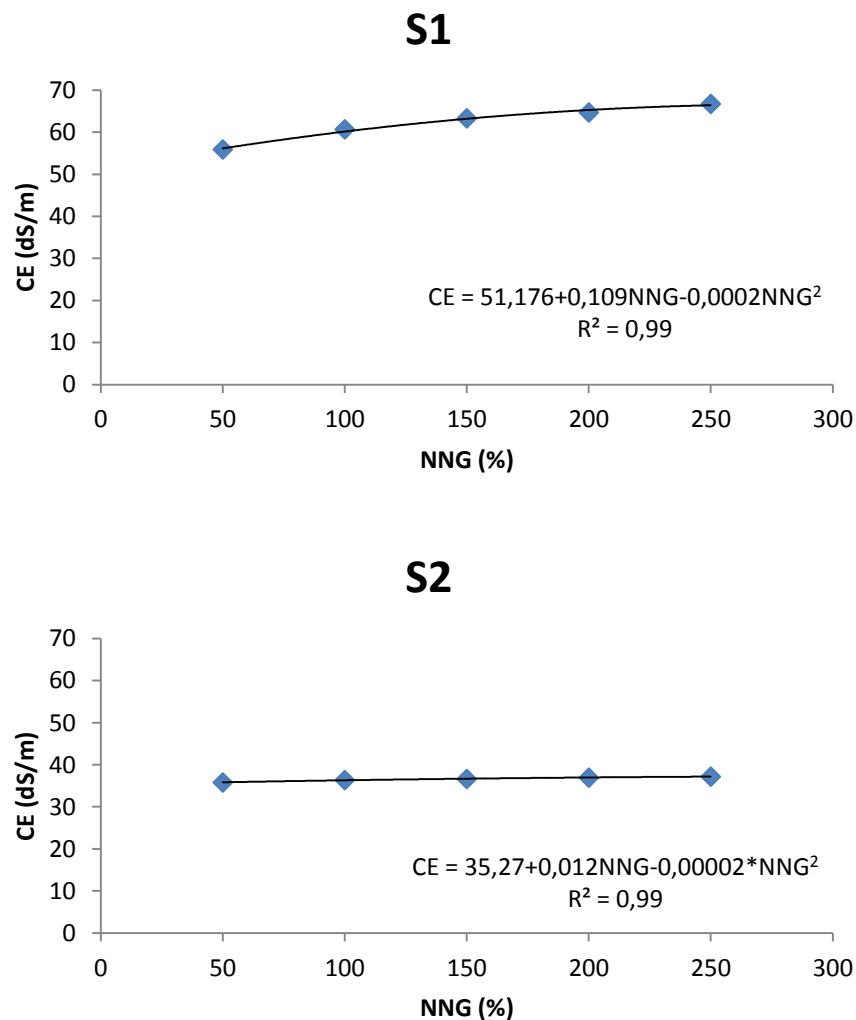


Figura 2- Relação entre os níveis da necessidade de gesso e a condutividade elétrica do lixiviado dos S1 e do S2, para a lâmina de lixiviação igual a 1 volume de poro.

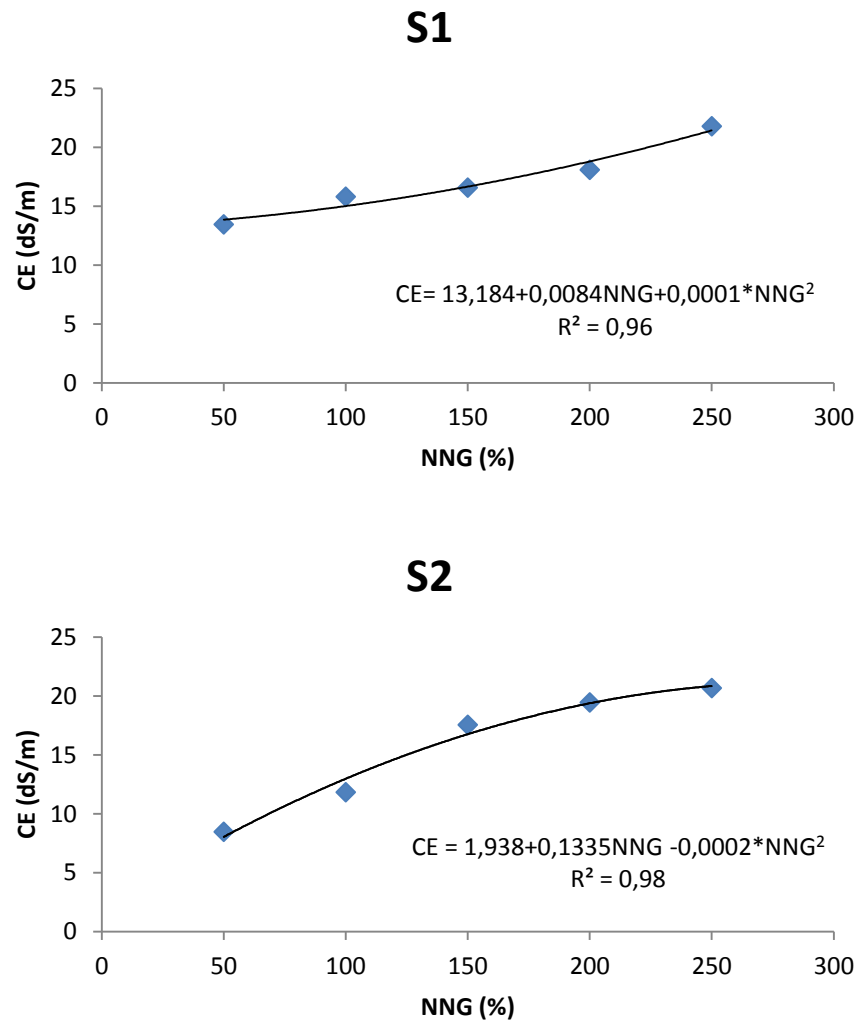
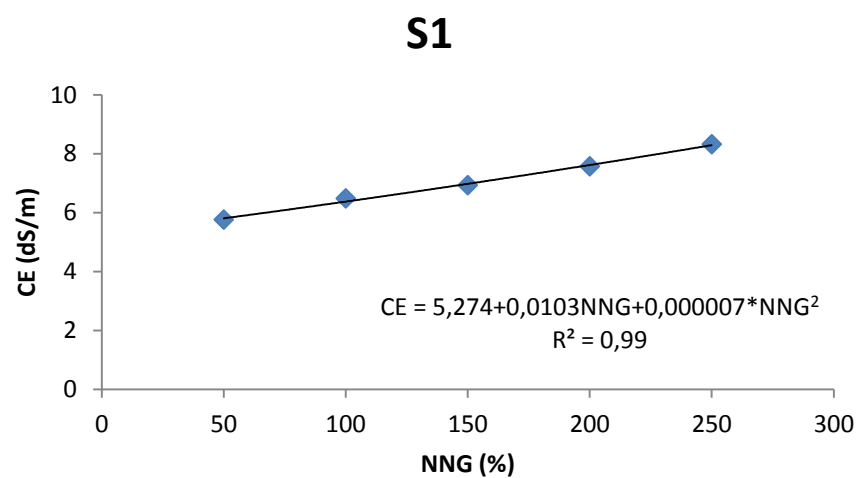


Figura 3- Relação entre os níveis da necessidade de gesso e a condutividade elétrica do lixiviado do S1 e do S2, para a lâmina de lixiviação igual a 2 volumes de poros.



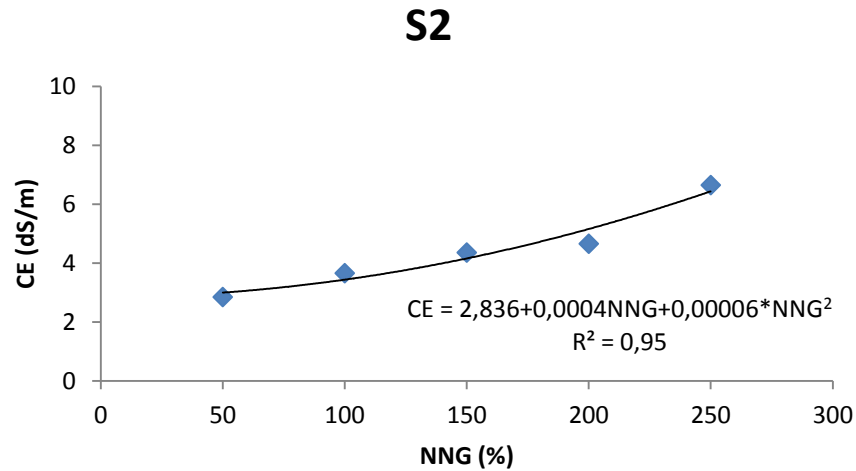


Figura 4- Relação entre os níveis da necessidade de gesso e a condutividade elétrica do lixiviado do S1 e do S2, para a lâmina de lixiviação igual a 3 volumes de poros.

A concentração de sódio na primeira lâmina de lixiviação apresentou valores próximos ao valor do sódio solúvel encontrado no extrato de saturação dos solos antes da aplicação do corretivo. O sódio removido na segunda e na terceira lâminas apresentaram valores menores em relação ao da primeira lâmina de lixiviação, esse valores provavelmente são devido ao sódio solúvel presente nesta lâmina ser oriundo da remoção do sódio solúvel presente nos inter-agregados e nos microporos do solo, como também do sódio advindo das reações de troca entre o cálcio da solução e o sódio presente no complexo sortivo.

As relações entre os níveis de NG e o Na^+ solúvel estão apresentadas nas Figuras 5, 6 e 7. Pode ser observado o aumento da quantidade de sódio na solução drenada em função dos níveis de NG a aplicado e das três lâminas de lixiviação, os coeficientes de determinação obtidos apresentam uma relação direta entre essas variáveis. Os dados encontrados nesta pesquisa estão de acordo com os obtidos por Tavares Filho (2010), o qual observou em condição irrigada diminuição dos valores de sódio solúvel pelo aumento da aplicação dos níveis da necessidade de gesso, seguida de lâmina de lixiviação.

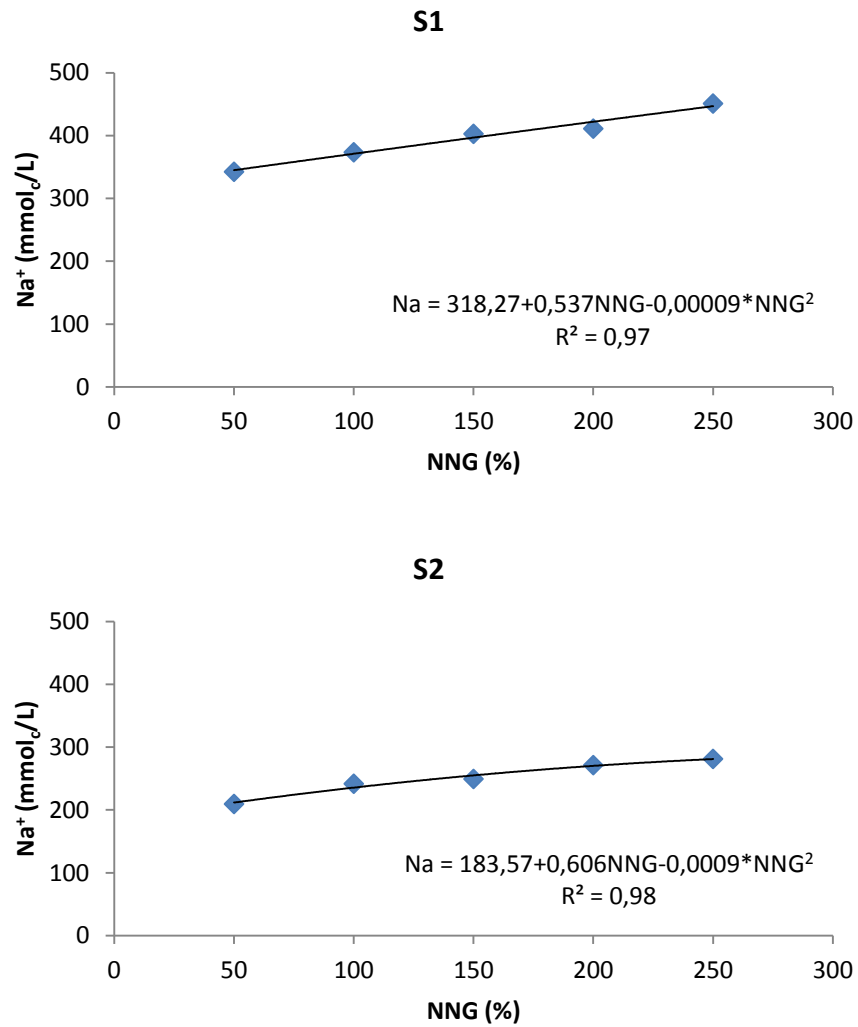
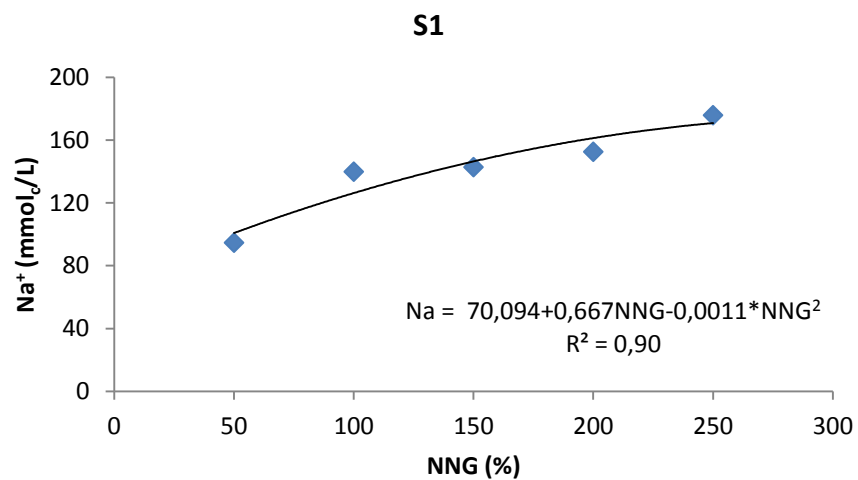


Figura 5– Relação entre os níveis da necessidade de gesso e o sódio solúvel do lixiviado do S1 e do S2, para a lâmina de lixiviação igual a 1 volume de poro.



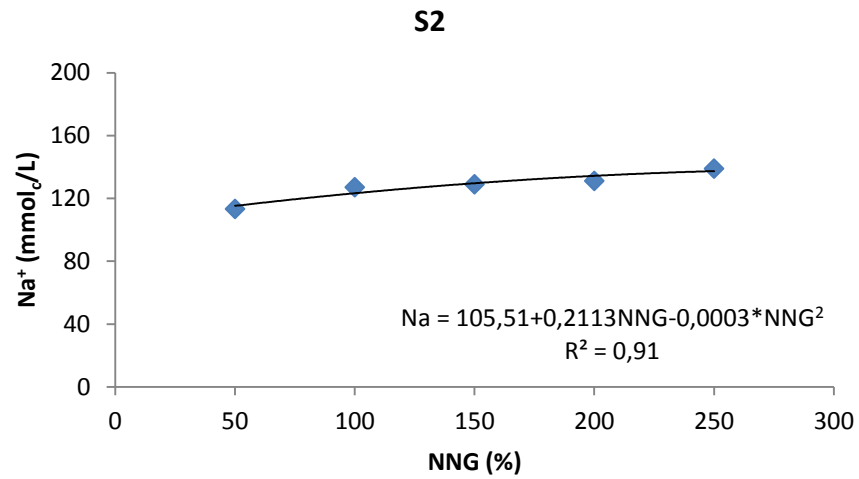


Figura 6– Relação entre os níveis da necessidade de gesso e o sódio solúvel do lixiviado do S1 e do S2, para a lâmina de lixiviação igual a 2 volumes de poros.

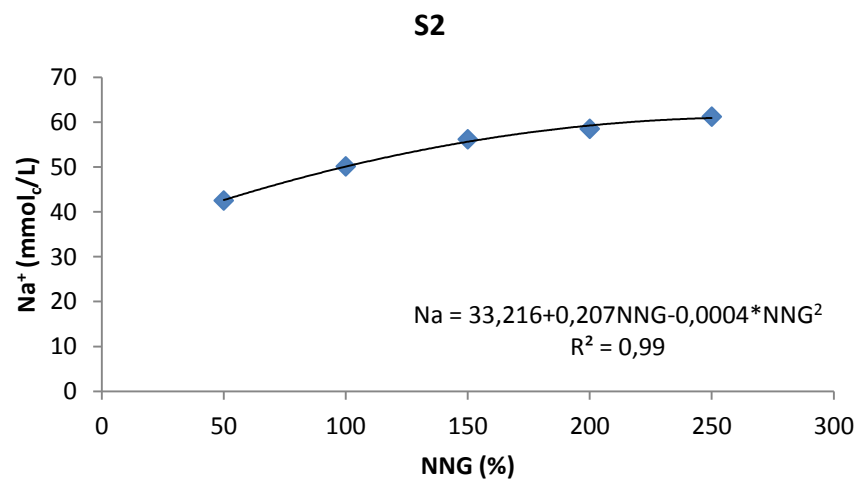
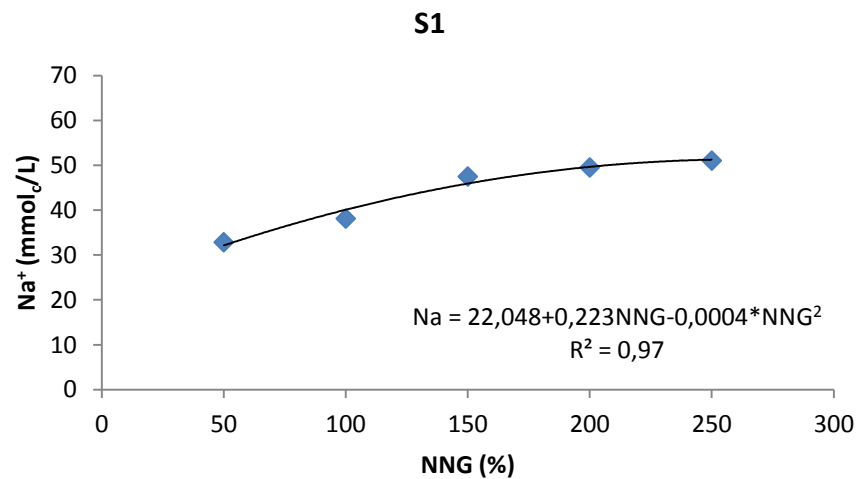


Figura 7– Relação entre os níveis da necessidade de gesso e o sódio solúvel do lixiviado do S1 e do S2, para a lâmina de lixiviação igual a 3 volumes de poros.

Na Tabela 6, verifica-se um aumento do pH dos lixiviados em função das lâminas de lixiviação e dos níveis de NG aplicados. Os resultados obtidos de pH na segunda e na terceira lâmina de lixiviação, mostraram comportamento oposto aos obtidos para condutividade elétrica e sódio solúvel, enquanto que os valores para a CE e para o sódio diminuíram, os valores de pH tiveram um ligeiro incremento. É possível que este aumento esteja relacionado com a diminuição da concentração total de sais e com predominância de sódio em relação aos cátions de hidrogênio presentes na solução, concordando desta forma com os resultados observados por Barros (2001) e Silveira et al. (2008).

A relação entre a necessidade de gesso e o pH foi testada e os resultados encontram-se nas Figuras 8, 9 e 10. Observa-se um alto coeficiente de determinação da variável em estudo ajustando-se ao modelo quadrático, com coeficiente de determinação variando entre 0,96 a 0,99 para o S1 e 0,98 a 0,99 para o S2.

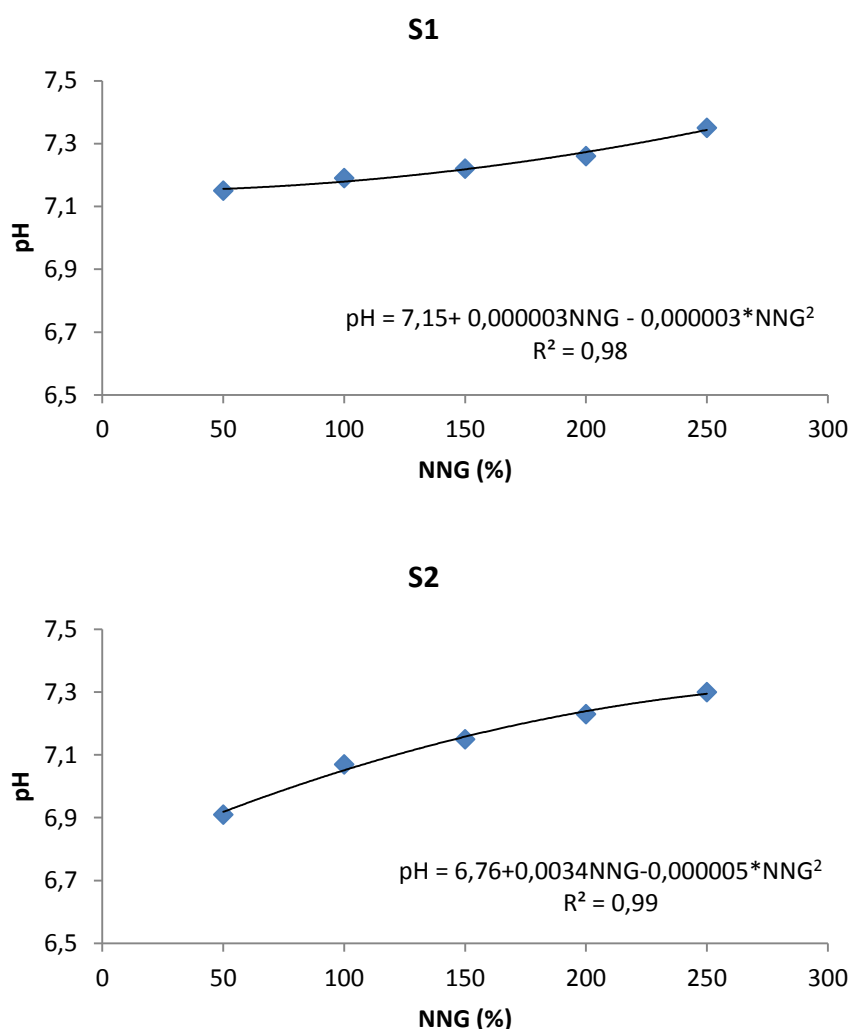


Figura 8– Relação entre os níveis da necessidade de gesso e o pH dos lixiviados do S1 e do S2, para a lâmina de lixiviação igual a 1 volume de poro.

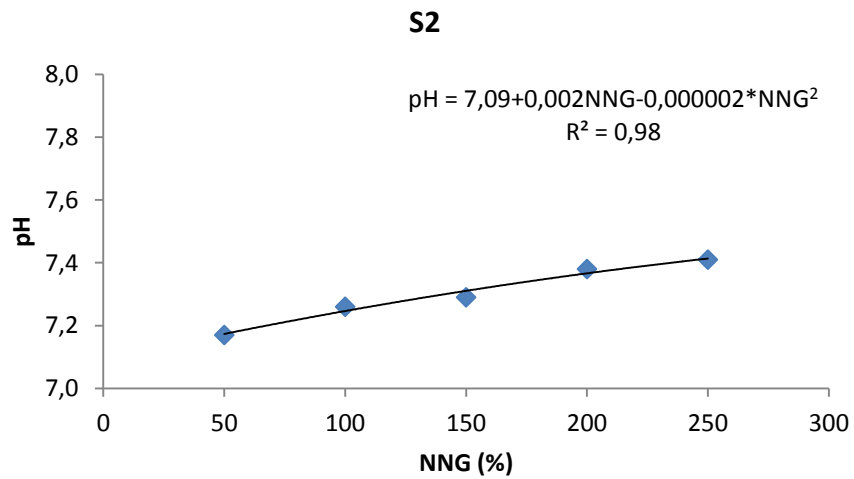
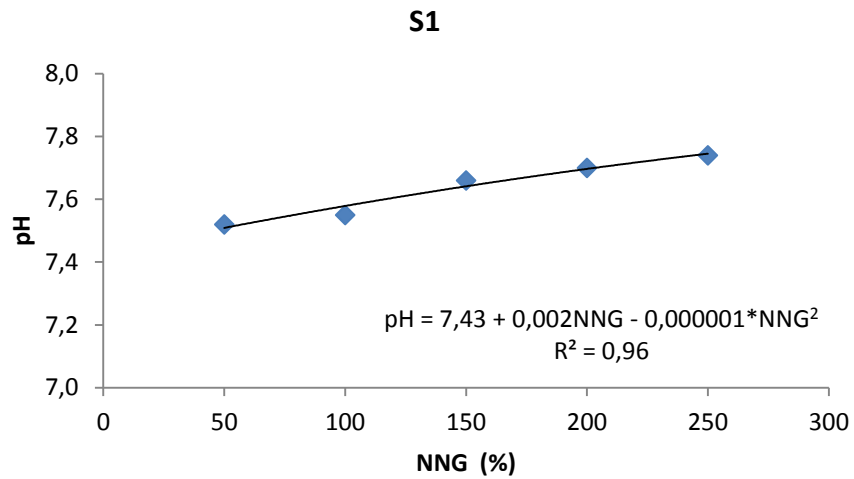
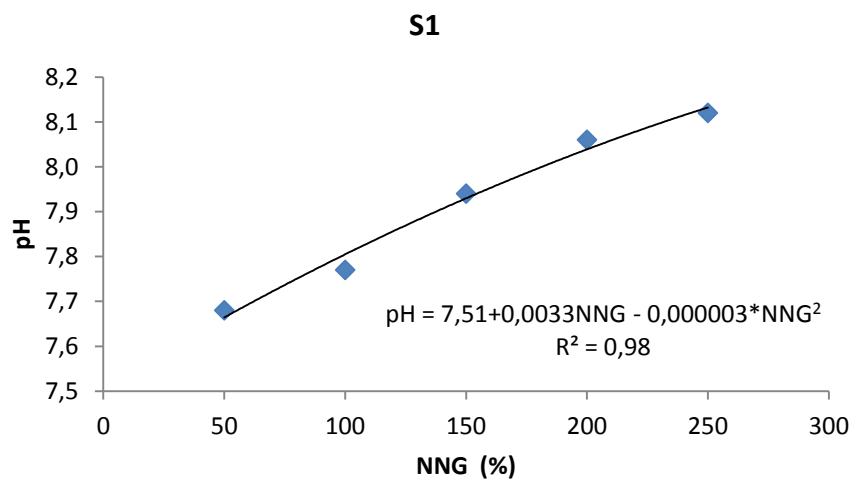


Figura 9– Relação entre os níveis da necessidade de gesso e o pH dos lixiviados do S1 e do S2, para a lâmina de lixiviação igual a 2 volumes de poros.



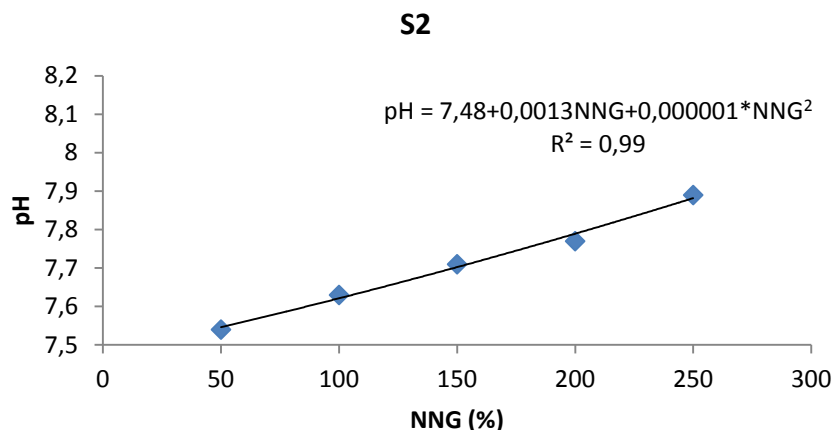


Figura 10– Relação entre os níveis da necessidade de gesso e o pH dos lixiviados do S1 e do S2, para a lâmina de lixiviação igual 3 volumes de poros.

4.2. Cátions solúveis, condutividade elétrica (CE) e Relação de Adsorção de sódio (RAS) no extrato da pasta saturada

Na Tabela 8 encontram-se os valores de cálcio, magnésio, sódio, potássio, CE e RAS, depois da aplicação do corretivo e de lâminas de lixiviação. Pode-se observar que a concentração de cálcio e magnésio aumentou proporcionalmente aos níveis de gesso aplicados. Esses resultados são devido ao fornecimento de cálcio e em menor magnitude de magnésio pelo gesso. Barros (2001) cita que em sua constituição o gesso mineral oriundos de jazidas da bacia sedimentar do Araripe-PE apresenta óxidos de magnésio. O mesmo autor relata que a constituição mineralógica das amostras de solos da zona semiárida de Pernambuco pode também ser responsável pela presença deste íon em solução. A fração argila dos solos dessa região apresentam argilas 2:1 tipo montmorilonita sódicas quando submetidas a lixiviação podem liberar magnésio para a solução. Estes resultados também são similares aos obtidos por Melo et al. (2008), trabalhando na correção de solos salino-sódicos do Perímetro Irrigado de Custódia- PE com a aplicação de gesso.

Os dados obtidos para sódio solúvel mostraram o oposto, sendo os maiores valores registrados para o primeiro nível da necessidade de gesso (NNG). Este resultado é devido a menor quantidade de cálcio em solução para a substituição do sódio trocável fornecido neste nível, conseqüentemente menor teor de sódio solúvel em relação aos outros tratamentos. Dados semelhantes foram encontrados por Silveira et al. (2008), utilizando na recuperação de solos salino-sódicos e sódicos do Perímetro Irrigado de Custódia- PE gesso dissolvido na água de irrigação.

Tabela 8- Composição química do extrato da pasta de saturação de S1 e S2

Solos	NNG	Cátions solúveis				CE	RAS
		Ca ⁺²	Mg ⁺²	Na ⁺	K ⁺		
	%	-----mmol _c L ⁻¹ -----				dS m ⁻¹	mmol L ⁻¹
S1	50	4,49	0,71	25,86	0,40	3,37	22,68
	100	16,82	4,14	18,79	0,44	3,82	8,21
	150	21,46	5,08	17,78	0,46	4,23	6,90
	200	24,09	5,54	16,77	0,48	4,48	6,16
	250	26,30	5,73	14,75	0,46	4,56	5,21
S2	50	9,93	0,91	24,59	0,45	3,43	14,94
	100	13,26	3,70	18,36	0,44	3,62	8,92
	150	18,80	4,66	16,33	0,43	3,95	6,74
	200	20,73	4,77	15,47	0,45	4,16	6,13
	250	25,68	5,38	12,73	0,44	4,37	4,57

NNG- Níveis da necessidade de gesso; S1- Solo Franco-argilo-siltoso; S2- Solo Franco; CE- Condutividade elétrica; RAS- Relação de Adsorção de sódio.

Pode-se observar, que os valores da relação de adsorção de sódio (RAS) foram decrescendo à medida que o NNG aumentava, chegando a resultados máximos 22,68 e 14,04 e mínimos 5,21 e 4,57 para os S1 e S2, respectivamente.

Entre o nível de 50 e 100% da NG aplicada, pode ser verificada uma diminuição dos valores da RAS de 63,81 e 40,31% para os S1 e S2. Entretanto para os demais tratamentos não ocorreu uma redução tão acentuada. Indicando que a utilização de níveis maiores que o determinado pela metodologia Schoonover M-1 (100%) não é recomendada por acarretar em mais gasto com corretivo. Este efeito também foi observado por Leite et al. (2007), aplicando o nível de 100% da necessidade de gesso em solos salino-sódicos da Paraíba.

Os valores obtidos para CE depois da aplicação do corretivo e de lâminas de lixiviação foram < 4,00 dS m⁻¹ para os níveis de 50 e 100% da necessidade de gesso (NG) (Tabela 8). Nos demais tratamentos não ocorreu a correção da salinidade. Ruiz et al. (2004), trabalhando com solo salino-sódico em colunas, observaram que a aplicação de gesso proporcionou menores valores para a CE dos solos recém corrigidos. Estes autores relatam que quando a CE apresentar um valor superior a 4,00 dS m⁻¹, significa que o volume da solução aplicado foi insuficiente para a dissolução do gesso, ou que houve uma aplicação excessiva do corretivo. Mesmo que a salinidade tenha reduzido nos níveis 150, 200 e 250% da NG em relação aos valores iniciais dos solos, eles ainda se mantêm em níveis prejudiciais para as plantas sensíveis a sais.

Os valores de potássio solúveis foram extremamente baixos, em relação aos valores originais (Tabela 4). O que já era esperado, em consequência da lixiviação de sais pela lâmina

de lixiviação. Este fato é explicado porque este íon é de fácil lixiviação por ser monovalente e apresentar ligações mais fracas que o cálcio e o magnésio com os colóides do solo.

A relação entre os níveis necessidade de gesso e a RAS foi testada e os resultados encontram-se na Figura 11. Essa relação se ajustou ao modelo potencial, podendo ser observado um coeficiente de determinações entre as variáveis de 0,92 e 0,99 para o S1 e S2, respectivamente. Este fato é explicado pela eficiência do gesso na correção da sodicidade do solo, pois a aplicação do corretivo acarretou decréscimo do sódio e aumento do cálcio solúvel dos solos. Dados similares foram constatado por Tavares Filho et al. (2012), os autores relatam que a aplicação dos níveis igual a 100, 150, 200% da necessidade de gesso promoveu a redução da sodicidade de duas amostra de solo salino-sódicos, o coeficiente de determinação ($R^2 = 0,98$) encontrado pelo autor, sugere existir uma nítida relação entre o gesso dissolvido e o sódio trocável substituído, o qual favoreceu a diminuição da relação de adsorção de sódio.

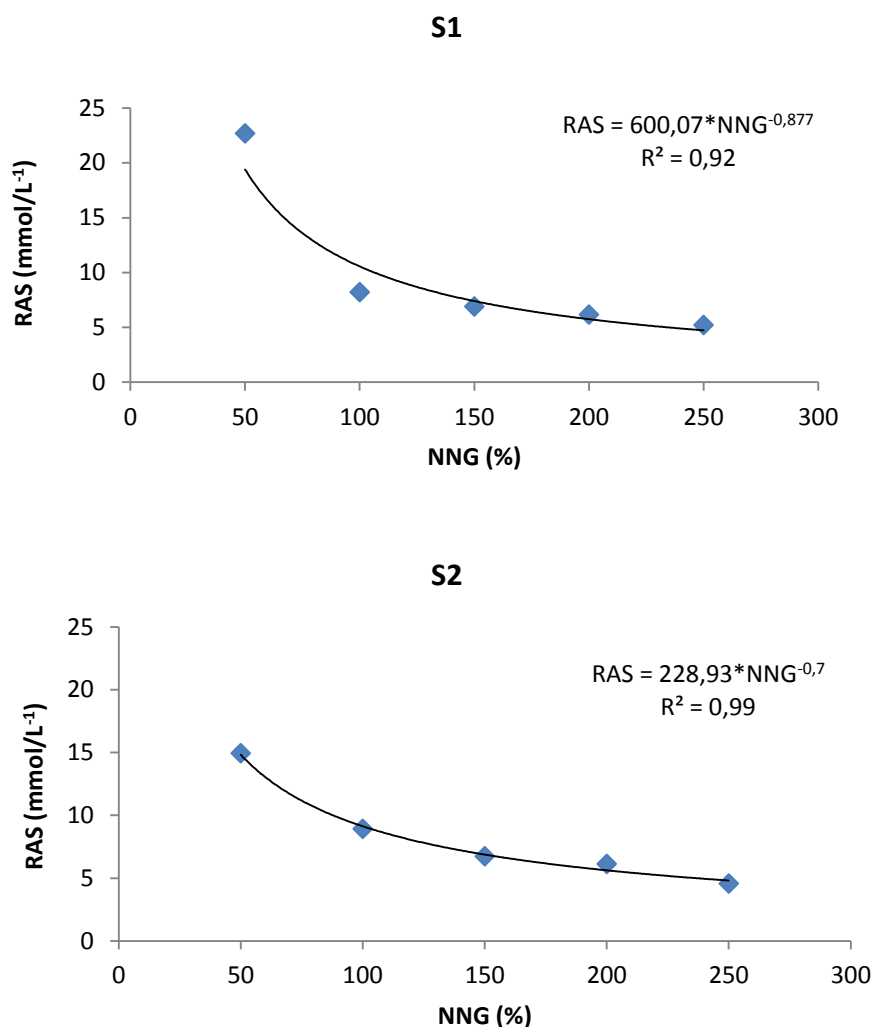


Figura 11 – Relação entre os níveis da necessidade de gesso e a relação de adsorção de sódio (RAS) do extrato da pasta de saturação dos dois solos salino-sódicos (S1 e S2).

Na Figura 12 encontram-se os resultados da relação entre os níveis necessidade de gesso e da CE do extrato de saturação. Observa-se um alto coeficiente de determinação da variável em estudo, de 0,94 para o S1 e de 0,99 para o S2, se ajustando ao modelo linear. Este efeito ocorreu em virtude do aumento da quantidade de corretivo em cada nível da necessidade de gesso utilizado. Dados idênticos são relatados por Ruiz et al. (2006) os quais relatam que o aumento da condutividade elétrica do extrato de saturação do solo é dependente da quantidade de corretivo e de água aplicados.

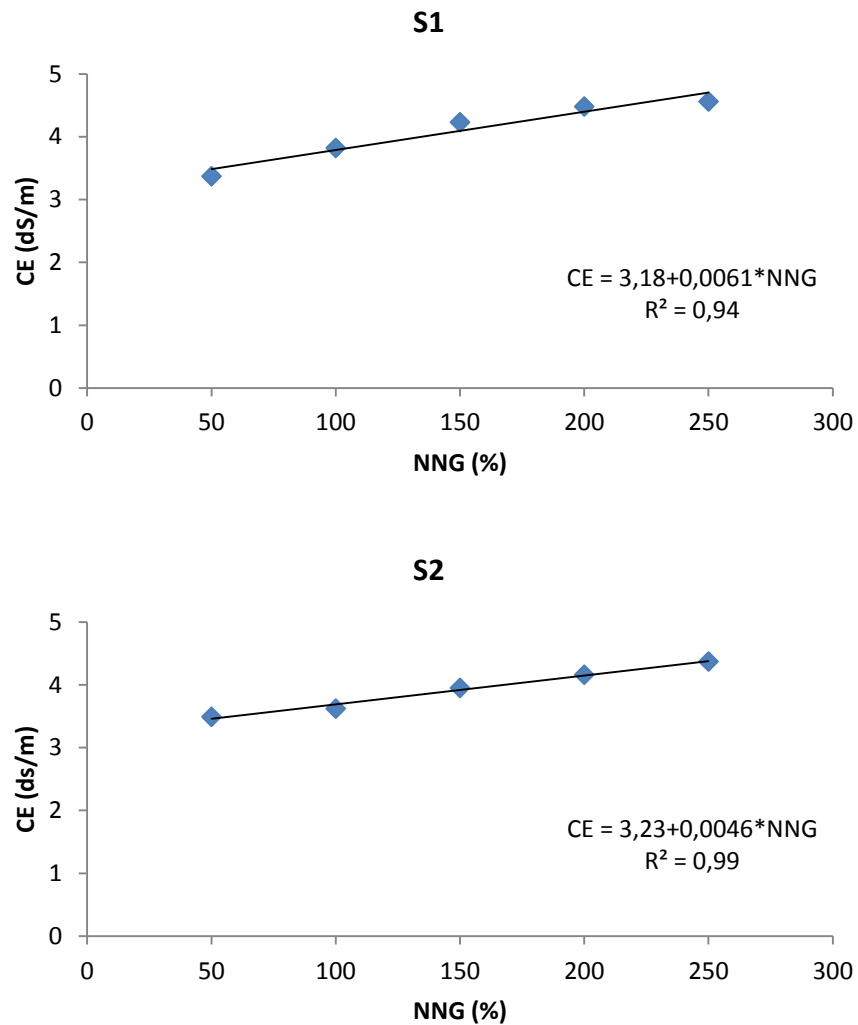


Figura 12 – Relação entre os níveis da necessidade de gesso e a condutividade elétrica (CE) do extrato da pasta de saturação dos dois solos salino-sódicos (S1 e S2).

4.3. Sódio trocável e percentagem de sódio trocável (PST)

Os valores para sódio trocável encontrados comprovam a eficiência do gesso incorporado ao solo na substituição do sódio adsorvido ao complexo de troca pelo cálcio do corretivo (Tabela 9). Os resultados apresentados indicam que independentemente dos níveis da necessidade de gesso (NNG) utilizados, ocorreu uma grande diminuição do sódio trocável em relação aos valores originais (Tabela 5). Confirmando com isso a eficiência do Método Shoonover M-1 na determinação da quantidade de gesso usada no deslocamento do Na^+ do complexo sortivo das amostras de solos. Melo (2005) citam que a quantidade de gesso determinada em laboratório envolvendo o equilíbrio entre o solo e uma solução saturada de gesso foi suficiente para reduzir a PST de duas amostras afetadas por sódio.

A redução do sódio trocável obtido quando foi utilizado o nível de 50% da necessidade de gesso (Tabela 9) não foi suficiente para correção da sodicidade dos S1 e S2, já que permaneceram com uma percentagem de sódio trocável (PST) > 15%, a correção não ocorreu neste nível devido a quantidade de corretivo aplicado não ser suficiente para ocorrer uma maior substituição do sódio pelo cálcio, conseqüentemente ainda apresentaram o caráter sódicos. Resultados semelhantes foram verificados por Melo (2005), trabalhando com duas amostras de solos salino-sódicas, do perímetro Irrigado de Custódia - PE. Esse autor constatou que para o nível de 50% da necessidade de gesso, determinado pelo método de Shoonover M-1. Os valores de PST foram de 17,83 e 24,96%.

Quando foi utilizado o nível de 100% da necessidade de gesso (NG) ocorreu redução nos valores do Na^+ trocável suficiente para reduzir a PST das amostras de solos para valores menores que 15%, isso se deve pelo aumento da concentração eletrolítica da solução do solo e pela troca iônica entre o sódio e o cálcio neste nível da necessidade de gesso. Este resultado estão coerente com os obtidos por Leite et al. (2010) aplicando 100% da necessidade de gesso. Comprovando que a metodologia é eficaz para reduzir a quantidade de sódio trocável no solo, tornando o solo não sódico.

Para os tratamentos acima de 100% da NG, o sódio trocável foi reduzindo a medida que o quantidade de gesso aumentava, este fato é devido pela presença de mais cálcio em solução advindos do corretivo, portanto, maior substituição do sódio no complexo de troca, conseqüentemente menor PST do solo. Valores baixos de sódio trocável depois da aplicação de gesso e de lâminas de lixiviação foram o também observados por Holanda et al.(1998) e Barros et al. (2005 a). Tavares Filho (2010) trabalhando com solos salino-sódicos em colunas de solos com aplicação de gesso, com nível superior a 100%, constatou a diminuição da PST dos solos que eram inicialmente de 26,37% e 59,97% antes correção para 6,34% e 13,26%

depois da aplicação do corretivo seguidas de lâmina de lixiviação igual a três volumes de poros.

Tabela 9 – Percentagem de sódio trocável (PST), sódio trocável (Na^+) e eficiência na substituição do Na^+ trocável

Solos	NNG	Na^+ trocável Inicial	Na^+ trocável Final	PST Inicial	PST Final	Eficiência na substituição do Na^+ trocável
	%	--- $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ---		----	%	----
S1	50		2,93		21,64	63,96
	100		1,54		11,60	80,69
	150	8,13	1,33	60,04	9,82	83,64
	200		1,10		8,12	86,47
	250		0,75		5,54	90,77
S2	50		1,85		19,23	61,06
	100		1,09		11,33	77,05
	150	5,25	0,87	49,38	9,04	81,69
	200		0,74		7,69	84,42
	250		0,53		5,50	88,86

S1- solo franco-argilo-siltoso; S2- solo franco e NNG- níveis da necessidade de gesso.

Sousa et al. (2012), trabalhando com solo salino-sódico sem carbonato solúveis, aplicando diferentes corretivos nos solos, observaram que o gesso foi o que mais reduziu a PST do solo salino-sódico em comparação com o ácido sulfúrico e o enxofre elementar.

Observa-se também que quando foi utilizado nível de 250% da NG ocorreu uma redução na eficiência da PST de 91% para o S1, enquanto que para o S2 a redução na PST foi de 89%, isto provavelmente deve ter ocorrido devido a textura dos solos. O S1 por apresentar uma maior quantidade de argila que o S2, proporcionou uma maior retenção de água no solo, ocorrendo com isso uma maior solubilização do gesso aplicado, resultando em uma melhor eficiência na substituição do sódio adsorvido ao complexo de troca pelo cálcio em solução.

A eficiência da substituição do Na^+ pelo Ca^{+2} cedido pelo gesso diminuiu a percentagem de sódio trocável (PST) dos solos, idêntico ao ocorrido nos estudos de recuperação de solos salino-sódicos realizados por Miranda et al. (2011). Estes autores observaram que o gesso em comparação a outros condicionadores orgânicos, proporcionou o menor valor da percentagem de sódio trocável, ficando em torno de 5%.

A relação entre os níveis da NG e o sódio trocável para os S1 e S2 foram testada e os resultados encontram-se na Figura 13. Essas relações se ajustaram ao modelo exponencial, apresentando, também, alto valor do coeficiente de determinação de 0,94 e 0,96 para os S1 e

S2, respectivamente. A relação entre os níveis de NG e a PST dos solos também foi testada (Figura 14) e apresentou comportamento semelhante ao obtido pela relação níveis de NG e sódio trocável. Estes resultados são devidos à presença de sódio trocável no cálculo da PST do solo. Comportamento semelhante foi observado por Tavares Filho (2010) trabalhando com a recuperação de solos salino-sódicos do Perímetro Irrigado de Ibimirim de Pernambuco. Esse autor encontrou coeficiente de determinação variando ente 0,97 a 0,98.

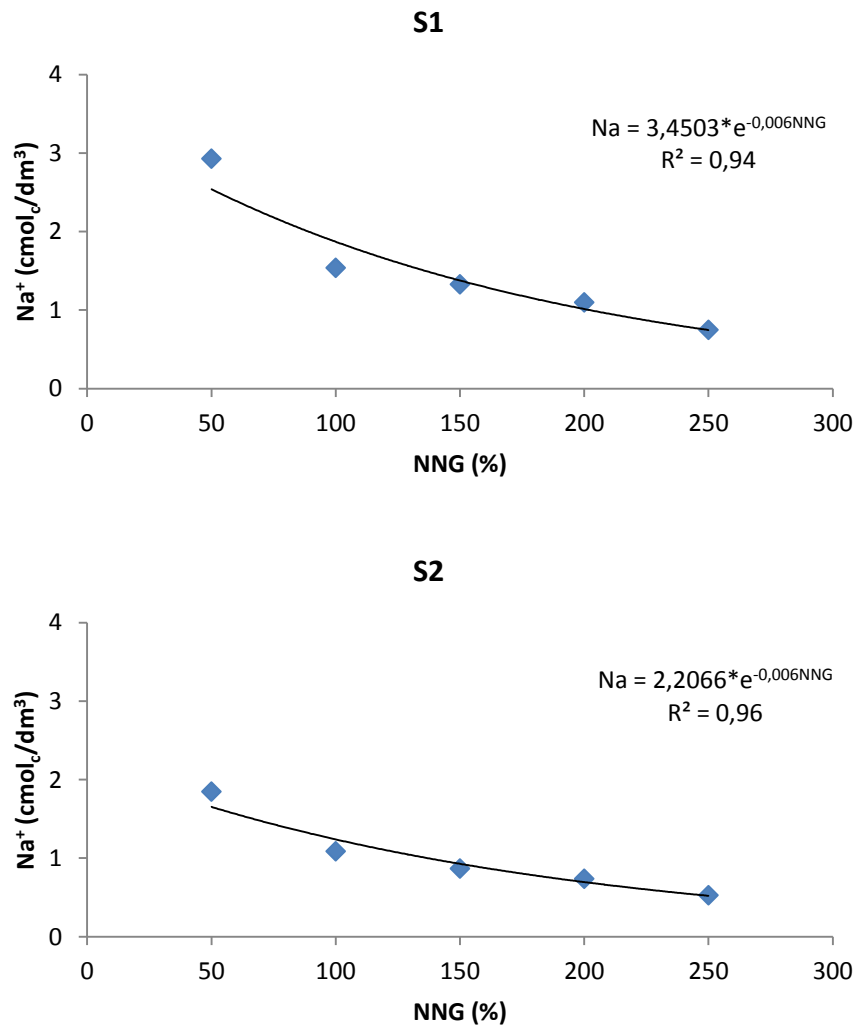


Figura 13 – Relação entre os níveis de necessidade de gesso e o sódio trocável dos solos salino-sódicos (S1 e S2).

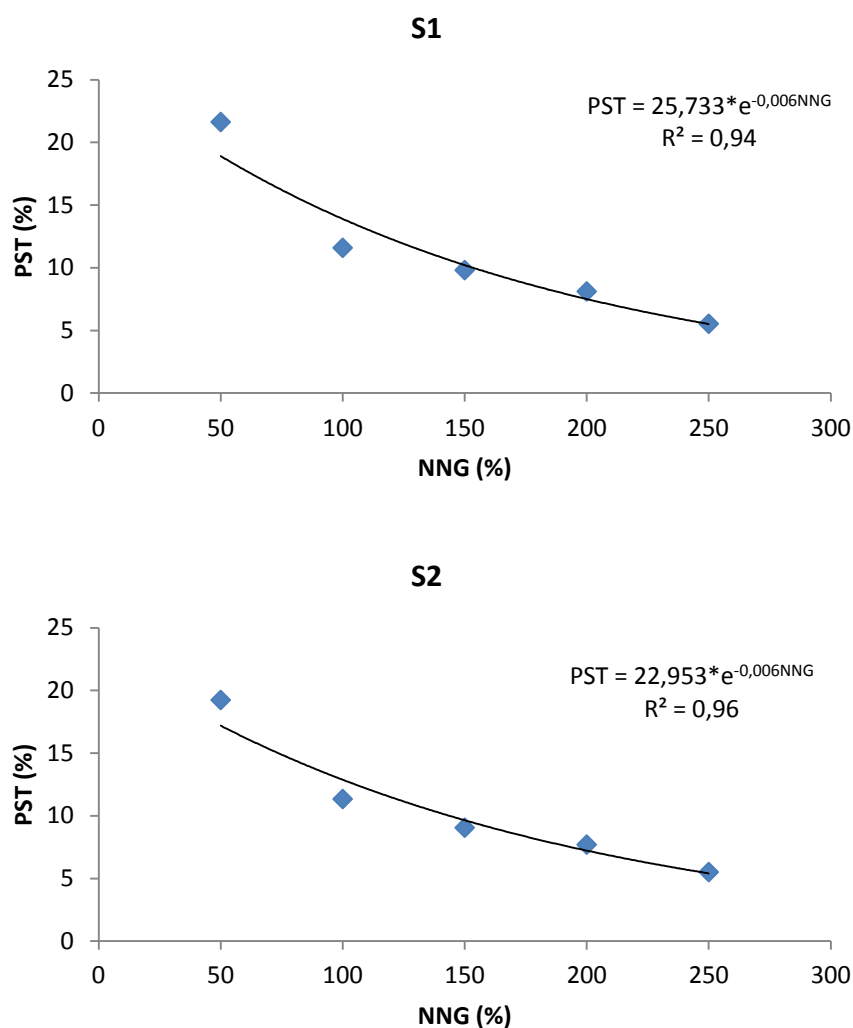


Figura 14 – Relação entre os níveis da necessidade de gesso e a percentagem sódio trocável (PST) dos solos salino-sódicos (S1 e S2).

4.4. Taxa de infiltração

Antes da aplicação do corretivo, os solos apresentavam a taxa de infiltração (TI) nula, estes resultados são devidos aos solos apresentarem altas concentrações de sódio trocável no complexo sortivo, o que ocasionou a dispersão dos agregados dos solos. A presença da maior proporção de sódio em relação a cálcio e magnésio trocáveis proporciona aumento no teor da argila dispersa e conseqüentemente redução da taxa de infiltração dos solos. Com a aplicação de gesso ocorreu a substituição do sódio pelo cálcio no complexo de troca, favorecendo assim aumento na agregação das partículas primárias do solo, resultando no aumento da TI dos solos.

Na Tabela 10, estão apresentados os valores obtidos da taxa de infiltração dos solos. Os níveis crescentes da aplicação do corretivo contribuíram para o aumento da TI dos solos em

comparação às condições iniciais (Tabela 3). Observa-se que independente do grau de sodicidade, as amostras dos solos apresentaram comportamentos semelhantes em função dos níveis da necessidade de gesso aplicados (Figura 15), pode ser verificado um incremento na TI em todos os tratamentos, demonstrando assim que há uma relação direta entre a aplicação dos níveis do corretivo e a permeabilidade de água no solo. À medida que o sódio do complexo de troca é substituído pelo cálcio, há uma diminuição da dupla camada difusa, favorecendo uma melhor estruturação do solo, conseqüentemente aumento da taxa de infiltração de água do solo (Fonseca, 2000).

Tabela 10- Taxa de infiltração em dois solos salino-sódicos submetidos a diferentes níveis da necessidade de gesso

Solos	Níveis da necessidade de Gesso				
	50%	100%	150%	200%	250%
	TI (cm h ⁻¹)				
S1	0,12	0,25	0,33	0,40	0,53
S2	0,16	0,30	0,38	0,46	0,55

S1- Solo Franco-argilo-siltoso; S2- Solo Franco; TI- Taxa de infiltração.

Ruiz et al. (2006) trabalhando com solos salino-sódicos da Paraíba, constataram que o corretivo utilizado (gesso) proporcionou maiores valores para a taxa de infiltração em relação as amostras que não receberam gesso, isso ocorreu porque houve obstrução dos poros pela argila dispersa no tratamento controle. Depois da aplicação de gesso em solo salino-sódico da China, Suhayda et al. (1997), observaram aumento na taxa de infiltração de água e na agregação das partículas de solos. No tratamento com gesso a taxa de infiltração foi de 8 cm/min, enquanto que para o tratamento que não recebeu gesso a taxa de infiltração não excedeu a 1 cm/min.

Na Figura 15, encontram-se os resultados para a relação entre necessidade de gesso e a TI dos solos. Pode-se observar o alto coeficiente de determinação entre as variáveis ($R^2 = 0,92$ e $0,91$) para os S1 e S2, se ajustando ao modelo exponencial.

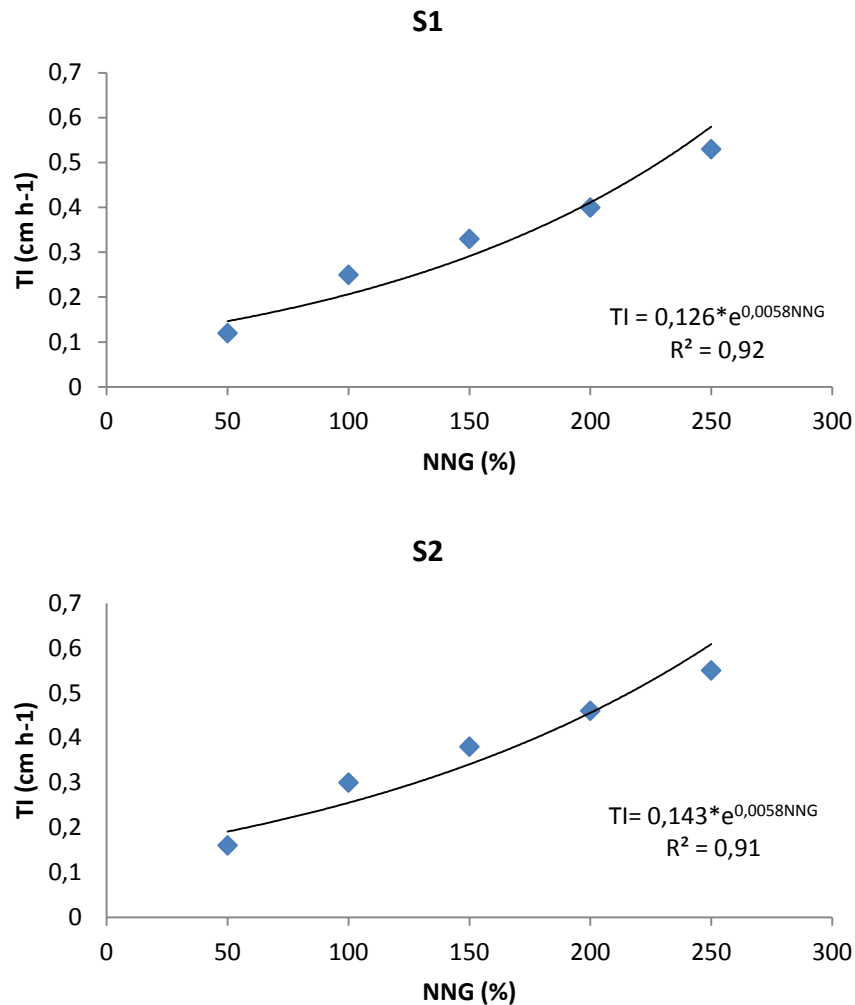


Figura 15 – Taxa de infiltração da amostra de S1 e S2 em relação aos Níveis da Necessidade de gesso.

4.5. Grau de dispersão e grau de floculação das argilas

O excesso de sódio trocável presente nos solos salino-sódicos e sódicos faz com que estes apresentem condições físicas desfavoráveis que decorrem da dispersão dos colóides e da degradação da estrutura. Com a dispersão dos colóides ocorre uma diminuição do espaço poroso reduzindo a aeração e dificultando o movimento de água no solo.

Na Tabela 11, observa-se os valores para o grau de dispersão e floculação da argila dos solos. Quando foi aplicado o nível de 100% da NG os valores para o grau de dispersão e grau de floculação apresentaram diferença significativa entre os demais níveis, utilizando o teste de Turkey a nível de 5% de probabilidade para o S1 com valores de 35,00 e 65,00% para grau de dispersão e para o grau de floculação, respectivamente. Para o S2 não foi observado diferença estatística entre os níveis de 100 e de 150% da necessidade de gesso.

Tabela 11- Grau de dispersão (GD) e grau de floculação (GF) da argila dos solos salino-sódicos após aplicação de diferentes níveis necessidade de gesso (NNG)

NNG	GD		GF	
	S1	S2	S1	S2
	-----%			
50	66,60	55,00	33,50	45,00
100	35,00	36,30	65,00	63,70
150	50,20	40,30	49,80	59,70
200	56,70	45,20	43,30	54,80
250	60,00	49,10	40,00	50,90

S1- Solo franco-argilo-siltoso; S2- Solo Franco.

Os dados obtidos neste trabalho são discordantes dos encontrados por Tavares Filho (2010), que constatou uma elevação no grau de floculação a medida que aumentava o nível da necessidade de gesso, para os dois solos salino-sódicos do estado de Pernambuco.

Tanto para o S1 como para o S2 pode ser verificado que os dados para grau de floculação (GF) em valor absoluto apresentaram redução nos níveis 50% e nos níveis superiores a 100% da NG. Para o nível de 50 % da NG este resultado é devido a menor quantidade de cálcio utilizada nesse tratamento a qual não foi suficiente para que ocorresse uma maior substituição do sódio trocável no complexo sortivo a ponto de que a floculação dos coloides fosse alcançada, este resultado é confirmado pelos dados obtidos para aPST dos solos nesse nível de aplicação do corretivo, significando que a quantidade de gesso aplicada nesse tratamento não conseguiu corrigir os solos quanto a sodicidade (PST > 15%). O caráter sódico dos solos implica em dispersão de argila.

Para aplicação dos níveis 150, 200 e 250% da NG os menores valores obtidos para o GF em relação ao nível de 100% da NG pode ser explicado provavelmente pela maior permeabilidade dos solos nesses níveis o que possivelmente acarretou perda de argila, semelhante ao ocorrido no estudo de Mace & Amrhein (2001). Os autores constataram que com diluição da concentração salina de água de drenagem e posterior aplicação em solos, ocorreu aumento de acumulação da quantidade de argila dispersa nos lixiviados. Cavalcante (2012) relata que em solos irrigados a lixiviação para correção da salinidade e/ou da sodicidade pode provocar perdas nas características físicas do solo, inicialmente pela dispersão das argilas, diminuição do grau de floculação e aumento do índice de dispersão.

A relação entre os níveis da NG e o grau de dispersão para os solos S1 e o S2 foram testada e os resultados encontram-se na Figura 16. Essas relações se ajustaram ao modelo quadrático, apresentando valores de coeficiente de determinação de 0,50 e 0,71 para os S1 e S2, respectivamente. Os dados encontrados nesta pesquisa estão coerentes com os obtidos por Santos (2009), trabalhando na correção de solos afetados por sais, sob duas condições de

manejo sequeiro e irrigado aplicando uma lamina de lixiviação igual a 3 volumes de poros encontrou um coeficiente de determinação de 0,47 e 0,80.

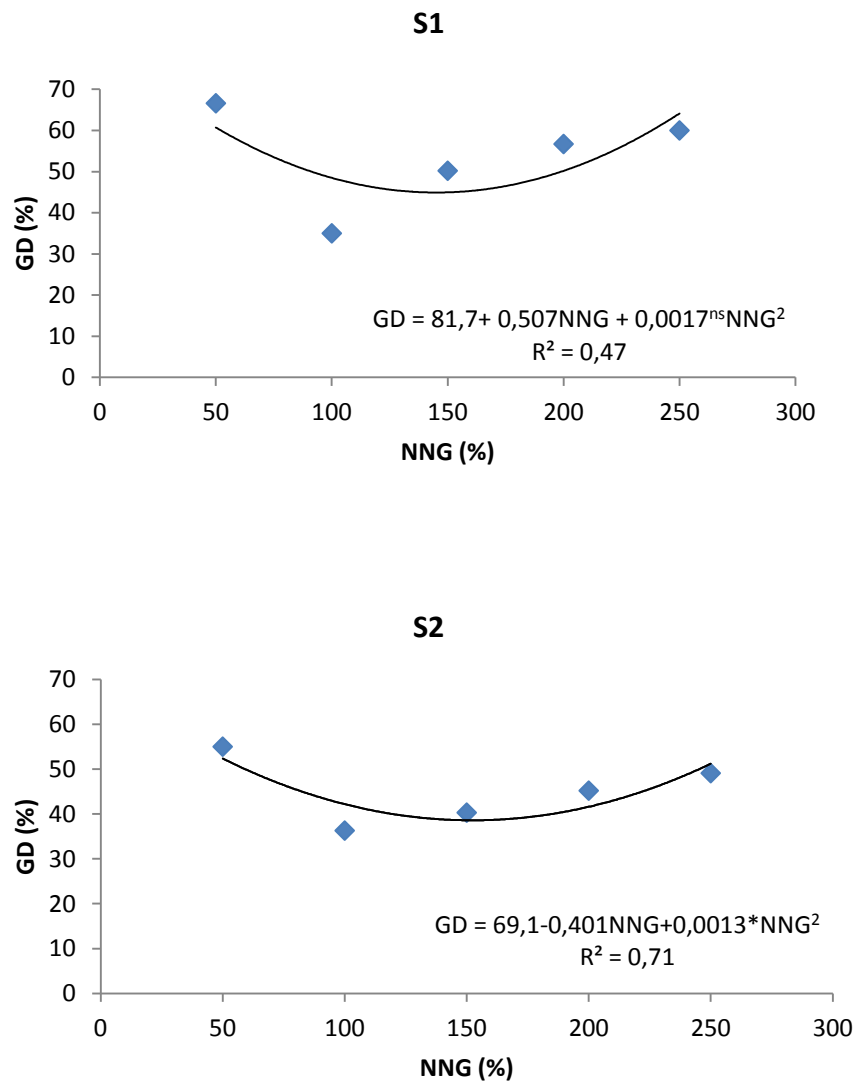


Figura 16 – Grau de Dispersão da amostra de S1 e S2 em relação aos Níveis da Necessidade de gesso.

4.6. Estabilidade de Agregados

Na Tabela 12 estão apresentados os resultados para o diâmetro médio ponderado (DMP), diâmetro médio geométrico (DMG) e o índice de estabilidade de agregados (IEA), depois da aplicação do corretivo. Constata-se que o DMP e o DMG para o S1 apresentou diferença significativa entre o nível 100% da necessidade de gesso e os demais níveis utilizados. Quando foi utilizado o nível 100% da NG obteve-se maior valor de DMP, igual a 0,239 mm para S1 superior ao encontrado para o S2 que foi de 0,123 mm. O nível de 100% da

NG, também, proporcionou os maiores valores da percentagem de estabilidade de agregados (PEA) nos dois solos. O nível de 50% de NNG proporcionou os menores valores para DMP, DMG e PEA tanto para o S1 como para o S2, o qual diferiu significativamente dos demais tratamentos.

Tabela 12– Diâmetro médio ponderado (DMP), diâmetro médio geométrico (DMG) e percentagem de estabilidade de agregados (PEA) em dois solos afetados por sais submetidos a diferentes níveis da necessidade de gesso (NNG)

NNG	DMP		DMG		PEA	
	S1	S2	S1	S2	S1	S2
	-----mm-----		-----mm-----		-----%-----	
50	0,16	0,10	0,86	1,02	53,59	45,41
100	0,24	0,13	0,89	1,08	88,81	79,36
150	0,21	0,12	0,88	1,05	86,20	76,41
200	0,21	0,11	0,87	1,04	85,76	72,79
250	0,19	0,11	0,86	1,04	72,98	60,87

S1- Solo franco-argilo-siltoso e S2- franco.

Pode ser verificado também que os DMG dos solos apresentaram valores médios superiores a 0,6 mm. Esses resultados estão relacionados ao efeito do gesso na substituição do sódio pelo cálcio no complexo de troca, proporcionando, assim, uma maior floculação das partículas do solo, conseqüentemente uma melhor estruturação. Jiménez-Rueda et al. (1992) relatam que o tamanho de agregado do solo superiores a 0,6 mm, apresenta uma estruturação do solo adequada para o desenvolvimento das culturas agrícolas.

A diminuição para o DMP e o DMG em valores absolutos, quando foram utilizados os níveis superiores de 100% da necessidade de gesso provavelmente é devido à perda de colóide (orgânico ou mineral) durante o processo de lixiviação, a maior quantidade de cálcio utilizado nos níveis 150, 200 e 250% favoreceu uma maior permeabilidade do solo, o que possivelmente acarretou perda argila durante o processo de lixiviação. Na presente pesquisa observa-se que a partir da aplicação do nível de 150% NG o lixiviado coletado apresentava colóide em suspensão.



Figura 17- Lixiviados com colóides, a partir do nível 150% da necessidade de gesso.

Os valores obtidos para a estabilidade dos agregados, os para o DMP e o PAE foram maiores no solo mais argiloso (S1) quando comparado ao solo menos argiloso (S2) para todos os níveis do corretivo aplicado. Para o DMG ocorreu o oposto. Este efeito pode ser explicado pelo maior diâmetro das partículas de areia encontradas no S2, conseqüentemente maior quantidade de areia nas peneiras 2,00, 1,00 e 0,50 mm de diâmetro, o que contribuiu para o cálculo do DMG do S2 ser maior que o do S1. Minhas et al. (1999) trabalhando com solos afetados por sais da Índia, verificaram que os valores para a argila dispersa e condutividade hidráulica indicam que a desagregação, a dispersão e a perda de argila do solo de superfície foram a causa da redução da permeabilidade do subsolo em função da aplicação de água de irrigação de baixa concentração de sais em solos salinos do semiárido da Índia.

Nas Figuras 18, 19 e 20 encontram-se os resultados da relação entre os níveis necessidade de gesso e do DMP, DMG e PEA. As relações se ajustaram ao modelo quadrático, apresentando valores do coeficiente de determinação de 0,86, 0,70 e 0,88 para o S1 e 0,97, 0,37 e 0,86 para o S2, respectivamente. Não houve incremento significativo para o S2 nos parâmetros DMP e DMG.

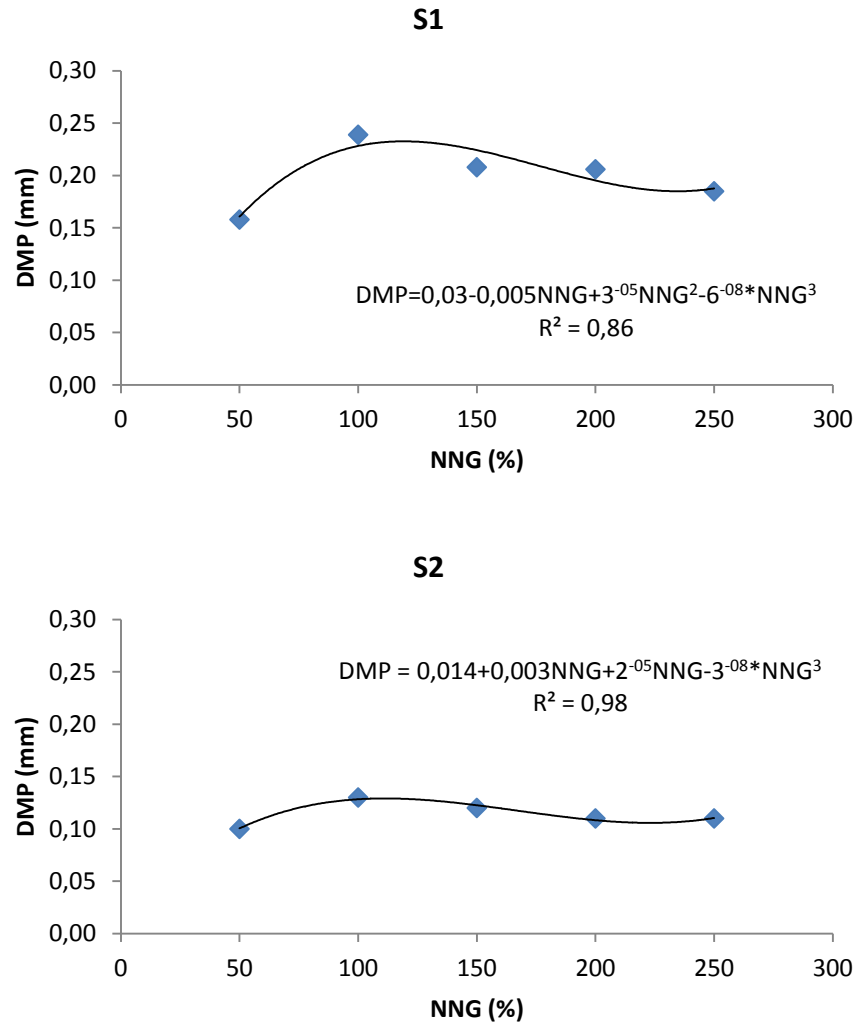


Figura 18 – Diâmetro médio ponderado da amostra de S1 e S2 em relação aos Níveis da Necessidade de gesso.

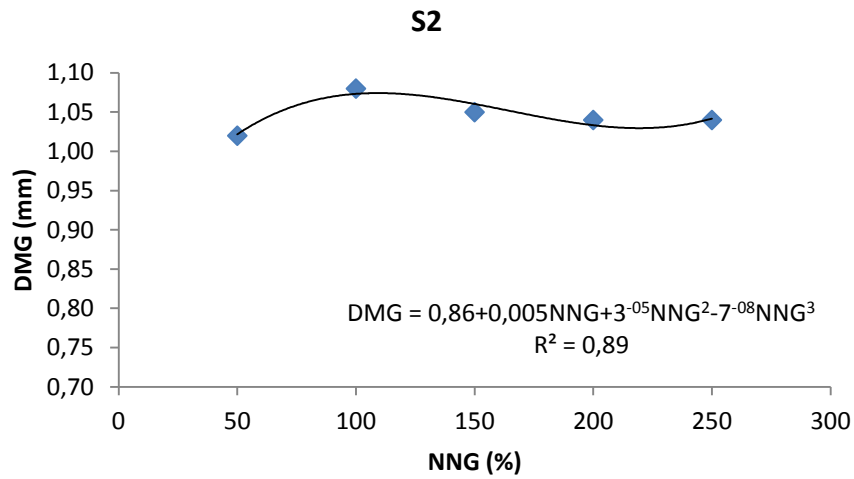


Figura 19 – Diâmetro médio geométrico da amostra de S1 e S2 em relação aos Níveis da Necessidade de gesso.

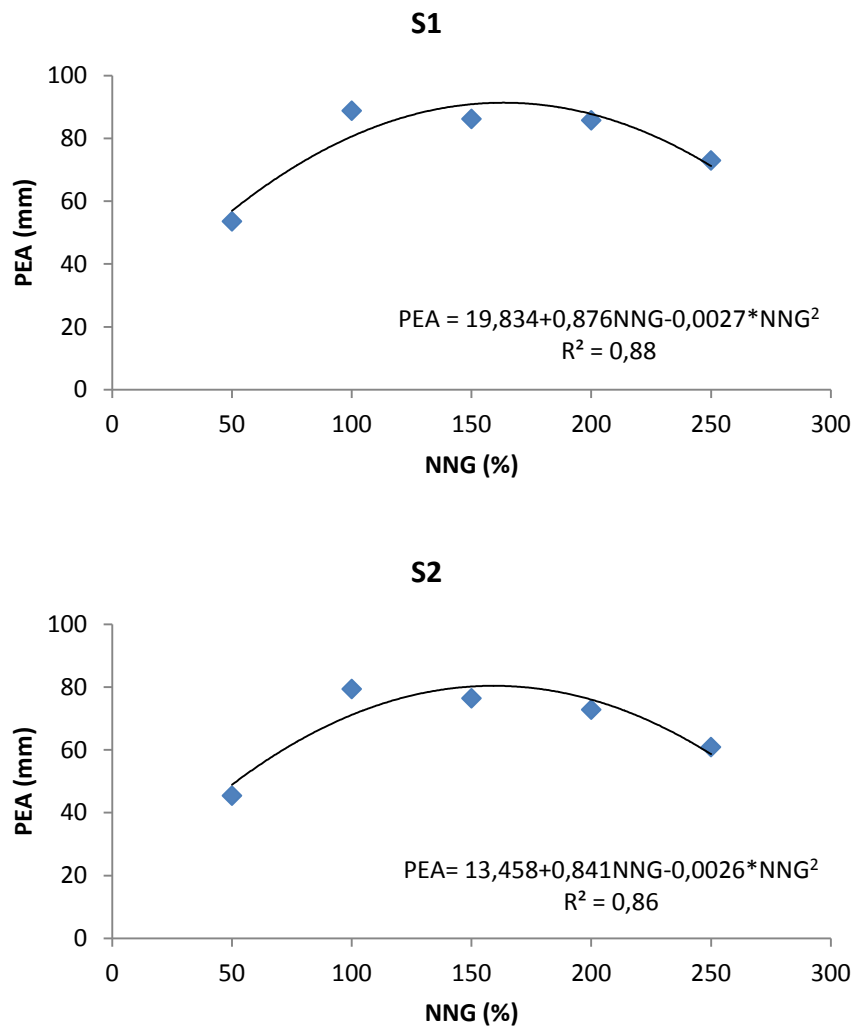


Figura 20 – Percentagem de estabilidade de agregados da amostra de S1 e S2 em relação aos Níveis da Necessidade de gesso.

5. CONCLUSÃO

A aplicação do nível de 100% de necessidade de gesso (NG), obtido pelo método de Schoonover M-1, seguida de lâmina de lixiviação equivalente a três volumes de poros, proporcionou correção da sodicidade dos solos ($RAS < 13 \text{ mmol L}^{-1}$ e $PST < 15\%$).

A lâmina de lixiviação correspondente a três volumes de poros corrigiu a salinidade dos solos, quando foram utilizados os níveis de 50 e 100% da NG ($CE < 4,0 \text{ dS m}^{-1}$).

A quantidade de gesso determinada em laboratório pelo método de Shoonover modificado (Shoonover M-1), revelou ser uma técnica eficaz de correção da sodicidade dos solos em estudos, indicada por um efeito positivo sobre as características físicas dos solos.

A utilização de níveis crescente de gesso para correção de solos salino-sódicos proporcionou maior taxa de infiltração de água dos solos.

O nível de 100% de necessidade de gesso promoveu menor grau de dispersão e maior estabilidade de agregados dos solos.

6. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

ACCIOLY, A. C. A.; RIBEIRO, M. R.; SHULZE, S. M. B. B. Caracterização ambiental do meio físico do sertão do Araripe. In: Curso Gestão ambiental e otimização da exploração e utilização do gesso da região do Araripe-PE. Recife, UFRPE, p. 1-13, 2003.

ALBUQUERQUE, J. A.; ARGENTON, J.; FONTANA, E. C.; COSTA, F. S.; RECH, T. D. Propriedades físicas e químicas de solos incubados com resíduo alcalino da indústria de celulose. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, vol. 26, núm. 4, p. 1065-1073, 2002.

AMORIM, J. R. de A.; FERNANDES, P. D.; GHEYI, H. R.; AZEVEDO, N. C. de. Efeito da Salinidade e modo de aplicação da água de irrigação no crescimento e produção de alho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.37, p.167-176, 2002.

ARAÚJO, A. P. B. de; COSTA, R. N. T.; LACERDA, C. F. de; GHEYI, H. R. Análise econômica do processo de recuperação de um solo sódico no perímetro irrigado de Curu-Pentecoste, CE. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, p. 377-382, 2011.

BARROS, M. de F. C. Avaliação da necessidade de gesso em solos salino-sódicos de Pernambuco. Recife, UFRPE, 82p. 1986. (Dissertação de Mestrado).

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

BARROS, M de F. C. Recuperação de solos salino-sódicos pelo uso de gesso de jazida e calcário. Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais. 112p. 2001. (Tese em Solos e Nutrição de Plantas)

BARROS, M. de F. C.; FONTES, M. P. F.; ALVAREZ, V.; V. H.; RUIZ, H. A. Recuperação de solos afetados por sais pela aplicação de gesso de jazida e calcário no Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.8, p. 59-64, 2004.

BARROS, M. de F. C.; FONTES, M. P. F.; ALVAREZ, V.; V. H.; RUIZ, H. A. Aplicação de gesso e calcário na recuperação de solos salino-sódicos do Estado de Pernambuco. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.9, p. 320-326, 2005 a.

BARROS, M. de F. C.; SANTOS, P. M. dos; SILVA, A. J. Recuperação de solos afetados por sais usando água de qualidade inferior. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.9, p.310-313, 2005 b.

BARROS, M. de F. C.; SANTOS, P. M.; MELO, R. M.; FERRAZ, F. B.; Avaliação de níveis para correção de sodicidade de solos. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, V.1, p. 17-21, 2006.

BARROS, M. de F. C.; WANDERLEY, R. A.; GONÇALVES, I. V. C.; OLIVEIRA, H. S.; VIANA, M. R. Influência da aplicação de níveis de gesso sobre a qualidade da água de drenagem. In: Anais do Workshop Manejo e Controle da Salinidade na Agricultura Irrigada. **Convivência em Busca da Sustentabilidade**, 2007, Campina Grande, CD ROM.

BARROS, M. de F. C.; BEBÉ, F. V.; SANTOS, T. O. dos; CAMPOS, M. C. C. Influencia da aplicação de gesso para correção de um solo salino-sódico cultivado com feijão caupi, v.9, n.1, 2009.

BOIVIN, P.; SAEJIEW, A.; GRUNBERGER, O.; ARUNIN, S.; Formation of soils with contrasting textures by translocation of clays rather than ferrolysis in flooded rice fields in Northeast Thailand. **European Journal of Soil Science**, 55, 713-724, 2004.

BOYOUCOS, G. Y. Hydrometer method improved for making particle size analysis of soil. **Agronomic Journal**, 54, 454-455, 1962.

BRONICK, C. J.; LAO, R. Soil structure and management: a review. **Geoderma**, 124, 3–22, 2005.

CAVALCANTE, L. F. Salinidade e meio ambiente: a contramão da fertilidade ao homem, ao solo, a água e as plantas. In: Anais do FERTBIO 2012 “Areponsabilidade socioambiental da pesquisa agrícola”. 2012. Maceió, CD ROM.

CASAROLI, D.; JONG VAN LIER, Q. de. Critérios para determinação da capacidade de vaso. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, MG, v.32, p.59-66, 2008.

CASTRO FILHO, C.; MUZILLI, O.; PODANOSCHI, A. L. Estabilidade de agregados e sua relação com o teor de carbono orgânico num Latossolo Roxo 67 distrófico, em função de sistemas de plantio, rotações de culturas e métodos de preparo das amostras. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.22, p.527-538, 1998.

COSTA, K. P.; CUSTÓDIO, D. P.; OLIVEIRA, I. P.; SOUZA, M. R. F.; RODRIGUESS, R. B.; CARRIJOS, M. S. Avaliação de doses de gesso na produção de massa seca e concentração foliar de nutrientes no capim Tanzânia. **In: 41a Reunião Anual da sociedade Brasileira de zootecnia**. Anais...Campo Grande – MS. Forragicultura. P. 1- 3. 2004 .

DIAS, N. S.; BLANCO, F. F. Efeito dos sais no solo e na planta. In.: GHEYI, H. R.; DIAS, N. S.; LACERDA, C .F. **Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados**. INCTSAL, p.130-141, 2010.

DUFRANC, G.; DECHEN, S. C. F.; FREITAS, S. S.; CAMARGO, O. A. Atributos físicos, químicos e biológicos relacionados com a estabilidade de agregados de dois Latossolos em plantio direto no estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 3, p. 505-517, maio/jun. 2004.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. SNLCS. Manual de Métodos de análises de solo. 2ª ed. Rio de Janeiro, 211p, 1997.

FERREIRA, P. A. Manejo de água-plantas em solos salinos Curso de Engenharia Agrícola, UFV/DEA, 66p. 2002.

FERREIRA, P. A.; MOURA, R. F.; SANTOS, D. B.; FONTES, P. C. R.; MELO, R. F. Efeitos da lixiviação e salinidade da água sobre um solo salinizado cultivado com beterraba. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.10, p.570–578, 2006.

FERREIRA, M. M. Caracterização física do solo. In: LIER, Q. J. V. **Física do solo**. SBCS, Viçosa, p. 1-24, 2010.

FONSECA, A. M. M. Avaliação da dispersibilidade de argila em neossolo flúvico, em função da qualidade de água e relação solo: água. Recife, UFRPE, 73p. 2000. (Dissertação de Mestrado).

FREIRE, M. B. dos S.; RUIZ, H. A.; RIBEIRO, M. R.; FERREIRA, P. A.; ALVAREZ, V. H.; FREIRE, J. F. Estimativa do risco de sodificação de solos de Pernambuco pelo uso de águas salinas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.7, n.2, p.227-232, 2003.

GHIBERTO, P. J.; PILATTI, M. A.; IMHOFF, S.; ORELLANA, J. A. Hydraulic conductivity of mollisolls irrigated with sodic-bicarbonated Waters in Santa Fe (Argentina). **Agricultural Water Management**, v.88, p. 192-200, 2007.

HOLANDA, J. S.; VITTI, G. C.; SALVIANO, A. A. C.; MEDEIROS, J. D. F.; AMORIM, J. R. de A. Alterações nas propriedades químicas de um solo aluvial salino-sódico decorrentes da subsolagem e do uso de condicionadores. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.22, p.387-394, 1998.

JIMÉNEZ-RUEDA, J. R.; TORNISIELO, S. M. T.; BARBOSA, I. F.; BENATT, M. T.; UEMURA, A. N. Aspectos físicos, químicos e microbiológicos de Latossolo vermelho-amarelo tratado com doses Cumulativas de esterco de granja. **Revista Brasileira de Geociências** v.22, p. 321-328, setembro de 1992.

KOLAHCHI, Z.; JALALI, M. Effect of water quality on the leaching of potassium from sandy soil. *Journal of Arid Environments*, 68: 624-639, 2007.

LAEGDSMAND, M.; JONGE, L.W.; MOLDRUP, P. Leaching of colloids and dissolved organic matter from columns packed with natural soil aggregates. *Soil Science*, 170: 13 – 27, 2005.

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

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

LOPES, J. F. B.; ANDRADE, E. de; CHAVES, L. C. G. impacto da irrigação sobre os solos de perímetros irrigados na bacia do Acaraú, ceará, Brasil. **Eng. Agríc., Jaboticabal**, v.28, n.1, p.34-43, jan/mar. 2008.

MACE, J.E.; AMRHEIN, C. Leaching and reclamation of soil irrigated with SAR waters. *Soil Science Society American Journal*, 65: 199-204, 2001.

MACHADO, R.; NETTO, A. de O. A.; CAMPECHE, L. F. de S. M.; BARROS, A. C. Efeito da salinidade em características físico-hídricas em solos salino-sodilizados no Perímetro Irrigados Jabiberi-SE. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v.1, n.1, p.15-19, 2007.

MAZURAK, A. P. Effect of gaseous phase on water-stable synthetic aggregates. **Soil Sci.**, v.69, p. 135-148, 1950.

MELO, R. M. Avaliação da necessidade de gesso em solos salino-sódicos do perímetro irrigado de Custodia - PE. Recife, UFRPE. 46p. 2005. (Dissertação de Mestrado)

MELO R. M.; BARROS, M. de F. C.; SANTOS P. M., ROLIM, M. M. Correção de solos salino-sódicos pela aplicação de gesso mineral. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.12, n.4, p. 376–380, 2008.

MESQUITA, M. G. B. F.; MORAES, S. O. A dependência entre a condutividade hidráulica saturada e atributos físicos do solo. **Ciência Rural**, 34: p. 963-969, 2004.

MINHAS, P. S.; SING, Y. P.; CHHABBA, D. S.; SHARMA, V. K. Changes in hydraulic conductivity of soils varying in calcite content under cycles of irrigation with saline-sodic and simulated rain water. **Irrigation Science**, 18: 199-203, 1999.

MIRANDA, M. A.; OLIVEIRA, E. M. de; SANTOS, K. C. F. dos; FREIRE, M. B. G. dos S.; ALMEIDA, B. G. de. Condicionadores químicos e orgânicos na recuperação de solo salino-

sódico em casa de vegetação. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. Vol. 15, nº 5, Campina Grande. 2011.

NAIDU, R.; RENGASAMY, P. I. On interactions and constraints to plant nutrition in Australian sodic soils. In: NAIDU, R.; SUMNER, M.E.; RENGASAMY, P. **Australian sodic soils**. Distribution, properties and management. Australia, CISRO: 1995, p. 127-135. (Papers and results from the First National Conference and Workshop on Sodic Soils in Adelaide from 9 to 13 November 1992).

ÖZTÜRK, H. S.; ÖZKAN, L. Effects of evaporation and different flow regimes on solute distribution in soil. **Transport in Porous Media**, v. 56: 245-255, 2004.

PIZARRO, F. Drenaje agrícola y recuperación de suelos salinos. Madrid: Española, p. 521, 1985.

QADIR, M.; QURESHI, R. H. & AHMAD, N. Reclamation of a saline-sodic soil by gypsum and *Leptochloa fusca*. **Geoderma**, 72:207-217, 1996.

QADIR, M.; NOBLE, A. D.; OSTER, J. D.; SCHUBERT, S.; GHAFOR, A. Driving forces for sodium removal during phytoremediation of calcareous sodic and saline-sodic soils: a review. **Soil Use and Management**, v. 21, n. 2, p. 173 -180, 2005.

RENGASAMY, P.; OLSSON, K. A. Sodicity and soil structure. **Australian Journal of Soil Research**, v.29: 935-952, 1991.

RIBEIRO, M. R. Caracterização e classificação dos solos de referência do estado de Pernambuco; Universidade Federal Rural de Pernambuco. Impresso: Recife, Pernambuco, Brasil. 1999. (relatório final)

RIBEIRO, M. R.; BARROS, M de F. C.; FREIRE, M. B. G. dos S. Química dos solos salinos e sódicos. In: MELO, V. de F. & ALLEONI, L. R. F. Química e mineralogia do solo, parte II- aplicações. p. 449-484, 2009.

RIBEIRO, M. R. Origem e classificação dos solos afetados por sais. In: GHEYI, H. R.; DIAS, N. S.; LACERDA, C.F. **Manejo da Salinidade na Agricultura: Estudos básicos e aplicados**. Fortaleza, p. 11-19. 2010.

RICHARDS, L. A. **Diagnosis and improvement of saline and alkali soils**. U. S. Dep. Agric. Handbook 60 Washington,. U. S. Government Printing, Office, D. C., 160p. 1954.

RUIZ, H. A.; SAMPAIO, R. A.; OLIVEIRA, M.; ALVAREZ VENEGAS, V. H. Características químicas de solos salino-sódicos submetidos a parcelamentos da lâmina de lixiviação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.39, p. 1119-1126, 2004.

RUIZ, H. A.; SAMPAIO, R. A.; OLIVEIRA, M. de; FERREIRA, P. A. Características físicas de solos salino-sódicos submetidos a parcelamento da lâmina de lixiviação. **R.C.Suelo Nutr. Veg.** , v. 6, p. 1-12. 2006.

RUIZ, H. A.; SAMPAIO, R. A. Características da solução drenada de solos salinos sódicos submetidos a parcelamento da lâmina de lixiviação. **Rev. Ceres**, v.56, p.634-639, 2009.

SANTOS, R. V. correção de um solo salino-sódico e absorção de nutrientes pelo feijoeiro vigna (*Vigna unguiculata* (L.) WALD). Piracicaba, USP, 120p. 1995. (Tese de Doutorado).

SANTOS, P. M. dos. Propriedades físicas e químicas de um neossolo quartzarênico submetido a lâminas de lixiviação. Recife, UFRPE, 66p. 2009. (Tese de Doutorado).

SANTOS, P. S.; BARROS, M. de F. C.; RODRIGUES, J. J. V.; QUEIROZ, E. L. B.; MELO, R. M. Indicadores de correção de sodicidade em decorrência da aplicação de gesso extraído da bacia sedimentar do Araripe. In: **Congresso Brasileiro de Ciência do Solo**. 30°. 2005, Recife, **Resumos...** UFRPE, CD-ROM.

SCHOONOVER, W. R. Examination of soils for alkali. Berkeley: University of California. Extension Service, 1952. Mimeographed.

SHARMA, S. K.; MANCHANDA, H. R. Influence of leaching with different amounts of water desalinization and permeability behaviour of chloride and sulphate-dominated saline soils. **Agricultural Water Management** , v. 31, p. 225–235, 1996.

SILVA, V. B. Diagnóstico da desertificação no município de Ibimirim-PE. Recife: UFPE, 88p. 2006. (Dissertação de Mestrado)

SILVEIRA, K. R.; SILVEIRA, R. R.; OLIVEIRA, F. A. formação e estabilidade de agregados de um solo sódico tratado com gesso e com vinhaça. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO DA UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO, 2, 1999. Resumo..., Recife, Imprensa Universitária, p.80. 1999.

SILVEIRA, K. R.; RIBEIRO, M. R.; OLIVEIRA, L. B.; HECK, R. J.; SILVEIRA, R. R. Gypsum saturated water to reclaim alluvial saline sodic and sodic soils. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 65, p. 69-76, 2008.

SMEDAMA, L. B.; SHIATI, K. Irrigation and salinity: a perspective review of the salinity harards of irrigation development in the arid zone. **Irrigation and drainage systems**, Amsterdam, v.16, n.2, p.161-74, maio, 2002.

SMITH, A. P.; CHEN, D.; CHALK, P. M. N₂ fixation by faba bean (*Vicia faba* L.) in a gypsum-amended sodic soil. **Biology and Fertility of Soils**. Berlin, v.45, p.329-333, 2009.

STATISTIX, Statistix for Windows by analytical softwars, Version 9.0. Tallahassee – FL, USA. 2009.

SOUSA, F. Q.; ARAÚJO, 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**, v.16, n.2, p.173–181, 2012.

SUHAYDA, C. G.; YIN, L.; REDMANN, R. E.; LI, J. Gypsum amendment improves native grass establishment on saline-alkali solis in northeast China, *Soil Use and Management*, v.13: 43-47, 1997.

SUMNER, M. E. Sodic Soils: new perspectives. In: NAIDU, R.; SUMNER, M. E; RENGASAMY, P. Australian Sodic Soils: distribution, propperities and management. Victory, CSIRO, p. 1-34. 1995.

TAVARES FILHO, A. N. Níveis da necessidade de gesso sobre as características físicas-químicas e na correção de solos salino-sódicos do Perímetro Irrigado de Ibimirim. Recife, UFRPE, 82p. 2010. (Dissertação de Mestrado)

TAVARES FILHO, A. N.; BARROS, M. de F. C.; ROLIM, M. M.; SILVA, E. F. de F. Incorporação de gesso para correção da salinidade e sodicidade de solos salino-sódicos. **Rev. bras. eng. agríc. ambient.** vol.16 no.3 Campina Grande 2012.

TEMÓTEO, J. W. C. Base municipal de informações das águas subterrâneas – município de Ibimirim – PE. Recife: CPRM, 18p. 2000.

ZIA, M. H.; SABIR, S. M.; GHAFOR, A.; MURTAZA, G. Effectiveness of sulphuric acid and gypsum for the reclamation of a calcareous saline-sodic soil under four crop rotations. **Journal Agronomy & Crop Science**, v.193, p.262-269, 2007.

ANEXO

ANEXO I

Descrição de perfil representativo do solo

CLASSIFICAÇÃO: GLEISSOLO SÁLICO Sódico típico A moderado textura argilosa fase campo halófito relevo plano (SiBCS,1999).

CLASSIFICAÇÃO: SOLONCHAK SOLONÉTZICO Ta EUTRÓFICO A fraco textura argilosa fase campo halófito relevo plano.

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO E COORDENADAS: Estação Experimental do IPA, lote vizinho, município de Ibimirim, PE.

SITUAÇÃO, DECLIVE e COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL: Planície aluvial do Rio Moxotó, praticamente plano sob vegetação rasteira e plantio de *Atriplex sp.*

ALTITUDE: 420m

LITOLOGIA E CRONOLOGIA: Sedimentos Aluviais. Quartenário.

MATERIAL ORIGINÁRIO: Sedimentos Aluviais argilosos.

PEDREGOSIDADE: Não pedregoso.

ROCHOSIDADE: Não rochoso.

RELEVO LOCAL: Plano.

RELEVO REGIONAL: Plano com suaves ondulações e depressões.

EROSÃO: Não aparente.

DRENAGEM: Imperfeitamente drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA: Caatinga de várzea com áreas desprovidas de vegetação.

USO ATUAL: Experimento com *Atriplex sp.* apresentando estrato rasteiro dominado por *Sesuvium portulacastrum*.

CLIMA: BSs'h' da classificação de Köppen. 3aThda classificação de Gaussen.

DESCRITO E COLETADO POR: M. R. Ribeiro, J. F. W. de Lima, L. B. de Oliveira e W. S. de Souza Jr.

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

Azn: 0-11 cm; bruno-escuro (10YR 4/3, úmido) e bruno-claro-acinzentado (10YR 6/3, seco); fraco-argilosa; franca a moderada pequena a média blocos subangulares; muito dura, firme, muito plástica e muito pegajosa; transição clara e plana.

2Cgzn₁: 11-40 cm; bruno-claro-acinzentado (10YR 4/2, úmido); argilo-siltosa; moderada muito grande prismática, composta de franca grande blocos angulares; extremamente dura, muito firme, muito plástica e muito pegajosa; transição difusa e plana.

2Cgzn₂: 40-85 cm; cizento-escuro (10YR 4/1, úmido); argila; moderada média a grande blocos angulares; superfície de compressão comum e moderada; firme, muito plástica e muito pegajosa; transição gradual e plana.

2Cgzn₃: 85-160 cm₊; cizento-escuro (10YR 4/1, úmido); argilo-siltosa; fraca media blocos angulares; superfícies; superfície de compressão comum e moderada; firme, muito plástica e muito pegajosa.

RAÍZES: Comuns no Ap; poucas no 2Cgzn₁; raras em 2Cgzn₂ e 2Cgzn₃.

OBSERVAÇÕES:

1. Muitos poros no Ap; poros comuns em 2Cgzn₁, 2Cgzn₂ e 2Cgzn₃.
2. O perfil apresentou efervescência na superfície, devido provavelmente à presença de Na₂CO₃.
3. Presença de pontuações brancas (sal ou mineral primário) em 2Cgzn₁ e 2Cgzn₂.
4. Presença de crosta de 0,5 cm de espessura e material solto pulverulento nos 2 cm seguintes.
5. Perfil úmido a partir de 2Cgzn₂.

Análises Físicas e Químicas

Horizontes	Frações da amostra total (%)	Composição granulométrica de terra fina (g kg ⁻¹)							Argila dispersa em água (g kg ⁻¹)	Grau de flocação (%)	% Silte % Argila	Densidade (g cm ⁻³)		Porosidade (%)
		Calhaus >20 mm	Cascalho 20-2 mm	TFSA < 2 mm	Areia grossa 2-0,2 mm	Areia fina 0,2-0,05 mm	Silte 0,02-0,002 mm	Argila <0,002 mm				Global	Partícula	
Azn	0-11	0	0	100	29	283	340	347	308	11	0,98	1,41	2,60	46
2Cgzn ₁	11-40	0	0	100	13	63	457	468	417	11	0,98	1,50	2,59	42
2Cgzn ₂	40-85	0	0	100	17	35	422	526	73	86	0,80	1,52	2,62	42
2Cgzn ₃	85-160	0	0	100	13	36	433	517	513	0	0,84	1,54	2,59	41

Horizonte	pH (1:2,5)		Complexo sortivo (cmol _c kg ⁻¹)							Valor V (saturação de bases)	100Al ³⁺ S+Al ³⁺ (%)	100Na ⁺ T (%)	
	Água	KCl 1 N	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Valor S (soma)	Al ³⁺	H ⁺				Valor T (soma)
Azn	7,6	7,3	7,0	7,6	0,66	18,50	33,8	0,0	0,0	33,8	100	0	55
2Cgzn ₁	6,5	5,6	8,3	10,3	0,42	23,29	42,3	0,0	1,4	43,7	97	0	53
2Cgzn ₂	8,0	7,5	11,1	12,4	0,40	28,25	52,1	0,0	0,0	52,1	100	0	54
2Cgzn ₃	8,7	7,8	7,1	10,7	0,27	22,37	40,5	0,0	0,0	40,5	100	0	55

Horizonte	P Disponível (mg.kg ⁻¹)	C (orgânico) (g.kg ⁻¹)	N (%)	C/N	Ataque Sulfúrico (g.kg ⁻¹)				SiO ₂ Al ₂ O ₃ (Ki)	SiO ₂ R ₂ O ₃ (Kr)	Al ₂ O ₃ Fe ₂ O ₃	Equivalente de CaCO ₃ (g.kg ⁻¹)
					SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂				
Azn	239	8,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2Cgzn ₁	227	3,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2Cgzn ₂	325	9,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2Cgzn ₃	305	1,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Horizonte	Pasta Saturada							Constates Hídricas (%)				
	pH	CE do Extrato mS cm ⁻¹	Umidade (%)	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Umidade 0,034 MPa	Umidade 1,52 MPa	Água disponível	Condutividade Hidráulica	Fator "f"
Azn	8,3	47,9	26	8,35	0,04	0,16	65,78	23,0	11,8	11,2	0,0	1,033
2Cgzn ₁	5,9	35,8	26	3,02	0,06	0,10	29,91	25,3	17,3	8,0	0,0	1,048
2Cgzn ₂	7,9	35,1	34	2,68	0,06	0,08	21,31	30,7	19,2	11,5	0,0	1,074
2Cgzn ₃	8,1	29,3	32	1,27	0,03	0,03	21,31	33,4	23,9	9,4	0,0	1,074