

ANGELA JESSYKA PEREIRA BRITO FONTENELE

**DESENVOLVIMENTO DO FEIJOEIRO CAUPI INOCULADO COM  
RIZÓBIO CULTIVADO EM SOLOS SALINO-SÓDICOS CORRIGIDOS  
COM GESSO**

RECIFE  
PERNAMBUCO  
2013

ANGELA JESSYKA PEREIRA BRITO FONTENELE

**DESENVOLVIMENTO DO FEIJOEIRO CAUPI INOCULADO COM  
RIZÓBIO CULTIVADO EM SOLO SALINO-SÓDICO CORRIGIDO COM  
GESSO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, pela aluna Angela Jessyka Pereira Brito Fontenele, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre.

Orientadora: Prof. Maria de Fatima Cavalcanti Barros, D. Sc.

RECIFE  
PERNAMBUCO  
2013

Ficha Catalográfica

F683d Fontenele, Angela Jessyka Pereira Brito  
Desenvolvimento do feijoeiro caupi inoculado com rizóbio  
cultivado em solos salino-sódicos corrigidos com gesso /  
Angela Jessyka Pereira Brito Fontenele. -- Recife, 2013.  
59 f.: il.

Orientador (a): Maria de Fatima Cavalcanti Barros.  
Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) –  
Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento de  
Tecnologia Rural, Recife, 2013.  
Inclui referências.

1. Sódio trocável 2. *Vigna unguiculata* L. 3. Necessidade de  
gesso I. Barros, Maria de Fatima Cavalcanti, orientadora  
II. Título

CDD 630

ANGELA JESSYKA PEREIRA BRITO FONTENELE

**DESENVOLVIMENTO DO FEJJOEIRO CAUPI INOCULADO COM  
RIZÓBIO CULTIVADO EM SOLOS SALINO-SÓDICOS CORRIGIDOS  
COM GESSO**

Dissertação defendida e aprovada em 19 de abril de 2013 pela banca examinadora:

Orientador:

---

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

Examinadores:

---

Sebastião da Silva Júnior, D.Sc.  
IFCE/ CAMPUS IGUATU

---

Carolina Etienne de Rosália e Silva Santos, Ph.D.  
UFRPE/DEPA

Coorientador:

---

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

*Oração da Serenidade*

Deus,

Conceda-me a serenidade

Para aceitar aquilo que não posso mudar,

A coragem para mudar o que me for possível

E a sabedoria para saber discernir entre as duas.

Vivendo um dia de cada vez,

Apreciando um momento de cada vez,

Recebendo as dificuldades como um caminho para a paz,

Confiando que o Senhor fará tudo dar certo

Amém.

“Vá firme na direção das suas metas,  
porque o pensamento cria,  
o desejo atrai e a  
fé realiza.”

*L. Trevisan*

Aos meus avós maternos:

Francisco Eduardo (in memoriam) e Violeta; Caetano e Alice.

Pois são meus exemplos de honestidade. Repassaram-me princípios valiosos para vida.

Valores esses, que são minha maior riqueza.

**DEDICO**

## AGRADECIMENTOS

Agradeço incondicionalmente a Deus, que está presente em minha vida, abençoando-me nas mais temidas decisões, iluminando meus caminhos na direção certa, acalentando os meus anseios, sempre me revela oportunidades de crescimento pessoal e profissional “me proporcionando mais esta conquista”.

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da UFRPE.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES, pela concessão da bolsa de estudos.

À professora, orientadora e amiga Maria de Fatima Cavalcanti Barros pela orientação irrestrita, por todo apoio prestado, pelos bons momentos e grandes risadas. Sem tudo isso a carga seria bem mais pesada. Grande parte dessa conquista dedico á ela.

Ao coordenador do Programa, prof. Ênio Farias de França e Silva pela possibilidade de realização do mestrado, bem como aos professores do Programa, por todo conhecimento transmitido e pela excelente experiência adquirida na Universidade Federal Rural de Pernambuco.

À minha amada Maria Odete “Minha Rainha” que mesmo longe me dá forças, me conforta com palavras e com seu colo de mãe. Meus irmãos Francisco Ulysses e Talys Levy, dos quais, espero servir de exemplo, mostrando-os que os valores do estudo e dedicação são fundamentais para uma boa formação de caráter, dignidade e sucesso.

A todos meus os tios queridos, de forma especial Tia Zuleide e Tio Joseci que são como pais, sempre tão carinhosos e atentos. Meus estimados primos agradeço de todo coração, pois são fundamentais na minha base familiar.

A meu namorado Aluizio Neto pelo amor, respeito, compreensão, por me consolar nos momentos difíceis e por tornar os meus dias mais felizes.

A Sr. Adolfo, Marizinha e D. Mariza “que além de sogra se tornou amiga”, agradeço por todo carinho e acolhimento recebido de toda família.

Aos MEUS MUITOS E VERDADEIROS AMIGOS CEARENSES, que mesmo longe sempre se fizeram presentes de várias maneiras na minha vida. Sempre me demonstrando que o que é verdadeiro a distância não atrapalha.

Agradeço imensamente a Andrea Raquel, Mara Suyane e Rochele Vasconcelos pelos dois anos de convívio, pelo apoio, pelos momentos de descontração e outros

momentos não tão bons assim, mas que vamos levar como experiências divididas. Eternamente grata.

Ao Prof. Mário Rolim, por ceder o Laboratório de Mecânica do Solo e Aproveitamento de Resíduos- UFRPE para que parte desse estudo fosse concluída.

À professora Carolina Etienne, por me dispor o Laboratório de Microbiologia da UFRPE de fundamental ajuda para conclusão desse trabalho.

À Cícera Carvalho, que acompanhou todo processo de implantação e análises do estudo. Sua ajuda foi de grande valia.

Aos colegas Alexandre Santos, Israel Venismare, Luciana Remídio e Jailson Cunha pelas ajudas e dicas essenciais prestadas.

À enorme turma de colegas da Pós (GEPEA) por todo apoio, pelos momentos alegres sempre repletos de muitas gargalhadas, pelos grandes mutirões de estudos, passamos por certas angustias, mas as vitórias conquistadas superam tudo. Agradeço de forma especial a todos que de diferentes formas contribuíram para essa conquista.

*“A gratidão é o único tesouro dos humildes.”*  
William Shakespeare



## SUMÁRIO

<b>RESUMO</b> .....	XII
<b>ABSTRACT</b> .....	XIII
<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	14
<b>2. REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	16
<b>2.1. Solos afetados por sais</b> .....	16
<b>2.2. Recuperação de solos afetados por sais</b> .....	18
<b>2.3. Efeito dos sais em plantas</b> .....	21
<b>2.4. Feijão-caupi</b> .....	22
<b>2.5. Fixação biológica do nitrogênio</b> .....	23
<b>3. MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	25
<b>3.1. Localização do ensaio</b> .....	25
<b>3.2. Solo: Localização e Descrição da Área</b> .....	25
<b>3.3. Caracterização solo</b> .....	26
<b>3.3.1 Caracterização física dos solos</b> .....	26
<b>3.3.2. Caracterização do extrato da pasta saturada dos solos</b> .....	26
<b>3.3.3. Características químicas das amostras de solos</b> .....	27
<b>3.3.4. Características de fertilidade dos solos</b> .....	28
<b>3.4. Descrição dos tratamentos</b> .....	28
<b>3.5. Condução de ensaio de laboratório</b> .....	28
<b>3.6. Condução do ensaio de casa de vegetação</b> .....	29
<b>3.7. Delineamento experimental</b> .....	31
<b>3.8. Análise estatística</b> .....	31
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	32
<b>4.1. Sódio trocável, percentagem e sódio trocável (PST) e condutividade elétrica (CE) da pasta saturada dos solos</b> .....	32
<b>4.2. Números, biomassa dos nódulos, nitrogênio na parte aérea e crescimento vegetativo</b> ..	36
<b>4.3. Teor dos elementos na parte aérea do feijão-caupi</b> .....	45
<b>5. CONCLUSÕES</b> .....	51
<b>6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	52

**LISTA DE TABELAS**

<b>Tabela 1.</b> Classificação de solos afetados por sais.....	16
<b>Tabela 2.</b> Característica física das amostras dos solos.....	26
<b>Tabela 3.</b> Características do extrato de saturação dos solos.....	27
<b>Tabela 4.</b> Características químicas das amostras de solos.....	27
<b>Tabela 5.</b> Caracterização da fertilidade dos solos.....	28
<b>Tabela 6.</b> Resultados de Sódio trocável ( $\text{Na}^+$ ), percentagem de sódio trocável (PST) e condutividade elétrica (CE) do extrato da pasta saturada.....	33
<b>Tabela 7.</b> Resultados das médias do número de nódulos (NN), matéria seca dos nódulos (MSN), matéria seca da parte aérea do feijão-caupi (MSPA), teor de nitrogênio (N) e altura da parte aérea do feijão-caupi (APA).....	36
<b>Tabela 8.</b> Teores de Cálcio (Ca), Magnésio (Mg), Potássio (K), Fósforo (P) e Sódio (Na) na parte aera do feijão-caupi em função dos níveis da necessidade de gesso (NG) para os solos (S1 e S2).....	45

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Solos depois da aplicação dos níveis da NG do solo aplicadas com cinco plantas de feijão-caupi por vaso (A) e (B) após realização do desbaste da cultura, com duas plantas de feijão-caupi por vaso .....30
- Figura 2.** Solos salino-sódicos (S1 e S2) semeados com feijão-caupi.....30
- Figura 3.** Relação entre a eficiência da percentagem de sódio trocável (PST) e os níveis de necessidade de gesso (NNG) para os solos (S1 e S2).....34
- Figura 4.** Relação entre a Eficiência da condutividade elétrica (CE) do estrato da pasta saturada e os níveis de necessidade de gesso (NNG) para os solos (S1 e S2).....35
- Figura 5.** Relação entre os números de nódulos (NN) na raiz do feijão-caupi e os níveis de necessidade de gesso (NNG) para os solos (S1 e S2).....39
- Figura 6.** Relação entre massa seca dos nódulos (MSN) do feijão-caupi e os níveis de necessidade de gesso (NNG) para os solos (S1 e S2).....40
- Figura 7.** Relação entre massa seca da parte aérea (MSPA) do feijão-caupi e os níveis de necessidade de gesso (NNG) para os solos (S1 e S2).....41
- Figura 8.** Relação entre os teores de nitrogênio (N) parte aérea do feijão-caupi e os níveis de necessidade de gesso (NNG) para os solos (S1 e S2).....42
- Figura 9.** Relação entre a altura da parte aérea (APA) do feijão-caupi e os níveis de necessidade de gesso (NNG) para os solos (S1 e S2).....44
- Figura 10.** Relação entre os teores de cálcio (Ca) na parte aérea do feijão-caupi e os níveis de necessidade de gesso (NNG) para os solos (S1 e S2).....46
- Figura 11.** Relação entre os teores de sódio (Na) na parte aérea do feijão-caupi e os níveis de necessidade de gesso (NNG) para os solos (S1 e S2).....47
- Figura 12.** Relação entre os teores de fósforo (P) na parte aérea do feijão-caupi e os níveis de necessidade de gesso (NG) para os solos salino-sódicos (S1 e S2).....50

## RESUMO

Em regiões áridas e semiáridas devido principalmente ao uso incorreto da irrigação, os problemas de salinidade e/ou sodicidade do solo tem sido agravados. Essa pesquisa teve como objetivo avaliar o desenvolvimento e a disponibilidade de cálcio, magnésio, potássio, fósforo e sódio para a cultura do feijoeiro caupi, cultivada em solos salino-sódicos corrigidos com aplicação de gesso. Foram realizados dois experimentos: o primeiro em laboratório, utilizando colunas de solo para identificar o melhor nível de gesso a ser aplicado em solos salino-sódicos do semiárido Pernambucano, para que a correção fosse alcançada. Os tratamentos foram dispostos em delineamento em blocos casualizados, com arranjo fatorial de (2 X 5) dois solos e cinco níveis da necessidade de gesso (NG), equivalentes a 50%, 100%, 150%, 200% e 250% da NG do solo, determinado pelo método Schoonover M-1, com cinco repetições. O segundo experimento foi conduzido em casa de vegetação, após a correção do solo, como cultura teste foi utilizada o feijão caupi [*Vigna unguiculata* L. (Walp)], cultivar *pele de moça*, inoculadas com Rizóbio, estirpe BR3267, para determinar o efeito do gesso na recuperação do solo e absorção de nutrientes e sódio pelo feijoeiro, aos 40 dias após o plantio. Foram avaliados: número e massa seca dos nódulos, massa seca da parte aérea, altura de plantas, os teores de nitrogênio, cálcio, magnésio, potássio, fósforo e sódio do material vegetal da parte aérea. A aplicação de níveis de necessidade de gesso, seguida de lâminas de lixiviação foram eficazes para a correção da sodicidade e da salinidade das amostras de solos. Independentemente dos níveis de gesso aplicados aos solos não ocorreu desbalanceamento catiônico entre  $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$  e  $\text{K}^{+}$ . Os níveis de gesso aplicados promoveram uma pequena redução no teor de fósforo na planta, não afetando a produção de massa seca da parte aérea.

**Palavras chave:** *Vigna unguiculata* L, sódio trocável, necessidade de gesso.

## ABSTRACT

In arid and semiarid regions mainly due to incorrect use of irrigation, the problems of salinity and / or sodicity has been aggravated. Two experiments were conducted: the first in laboratory using soil columns to identify the best level of gypsum to be applied in saline-sodic soils of semiarid Pernambucano, so that the correction was achieved. This research aims to assess the development and availability of calcium, magnesium , potassium, phosphorus and sodium to the cowpea bean crop grown in saline-sodic soils corrected with application of gypsum. Treatments were arranged in a randomized block design with a factorial arrangement (2 X 5): two soils and five levels of gypsum requirement (NG), equivalent to 50%, 100%, 150%, 200% and 250% of NG soil, determined by the method Schoonover M-1, with five repetitions. The second experiment was conducted in a greenhouse after correcting the soil, as test crop was used the cowpea bean [*Vigna unguiculata L. (Walp.)*], cultivar *pele de moça*, inoculated with Rhizobium, to determine the effect of gypsum in recovery of the soil and nutrient and sodium absorption by bean plants at 40 days after planting. It was evaluated: number and dry weight of nodules, dry matter of shoots, plant height, the levels of nitrogen, calcium, magnesium, potassium, phosphorus and sodium of plant material of shoot. The application of levels of gypsum requirement, followed by leaching depths were effective for the correction of sodicity and salinity of soil samples. Regardless of gypsum levels applied to the soil did not occur cationic unbalance between  $Mg^{2+} + Ca^{2+}$  and  $K^+$ . Levels of gypsum applied promoted a small reduction of levels of phosphorus in the plant, not affecting the production of dry mass of shoots.

**Keywords:** *Vigna unguiculata L.*, exchangeable sodium, gypsum requirement.

## 1. INTRODUÇÃO

O processo de salinização do solo tem sido um problema que merece destaque, pois está provocando limitações na produtividade, particularmente em áreas irrigadas das regiões áridas e semiáridas, reduzindo assim as áreas de cultivo.

A salinidade e a sodicidade dos solos causam um decréscimo no potencial produtivo de grandes áreas em todo mundo. A necessidade de se aumentar a produção agrícola à medida que a população humana cresce constitui um desafio científico-tecnológico. O aproveitamento de áreas degradadas por sais a fim de incorporá-los ao sistema de produção agrícola, além de suprir as necessidades alimentícias tem uma grande importância na questão social, econômica e ambiental.

A correção dos solos afetados por sais requerem técnicas eficazes e viáveis, para a remoção de excessos de sais e sódio trocável, possibilitando que estes solos sejam reincorporados ao processo de produção.

A recuperação de solos salinos e sódicos tem como objetivo principal a redução da concentração dos sais solúveis e do sódio trocável no perfil do solo a um nível não prejudicial ao desenvolvimento das culturas. A diminuição dos teores de sais envolvem o processo da solubilização e conseqüentemente remoção pela percolação da água. A diminuição do teor de sódio trocável envolve o deslocamento desse elemento do complexo de troca pelo cálcio antes da lixiviação. A fonte de cálcio mais comumente empregada é o gesso, por apresentar custos mais baixos e solubilidade moderada, quando comparado a outros corretivos. Pernambuco explora cerca de 80% das suas jazidas de gesso, sendo o maior produtor do país (ACCIOLY et al., 2003).

Barros et al. (2006) citam que a quantidade de gesso necessária para a recuperação dos solos salino-sódicos e sódicos, pode ser calculada através de tabelas ou fórmulas, utilizando a percentagem de sódio trocável que se deseja substituir, como também, a capacidade de troca de cátions do solo, a profundidade do solo a ser recuperada ou pode ser determinada por métodos de laboratório. 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 de necessidade de gesso, segundo o procedimento de Schoonover. São apresentados por Barros e Magalhães (1989), modificação nesta metodologia, para eliminação da interferência de altos teores de cálcio e magnésio solúveis em solos salino-sódicos de Pernambuco.

O feijão-caupi (*Vigna unguiculata* L) é um dos principais componentes da alimentação para as populações das Regiões Nordeste e Norte do Brasil, cujo seu cultivo é bastante difundido na agricultura familiar. Apresenta ciclo curto, baixa exigência hídrica e capacidade para fixar nitrogênio do ar, através de bactérias fixadoras, na forma de simbiose, que pode permitir o aumento do rendimento da cultura.

Sendo uma leguminosa capaz de se beneficiar da Fixação Biológica de Nitrogênio (FBN), quando em associação com bactérias conhecidas como rizóbios. Em função dos resultados positivos obtidos em áreas do semiárido nordestino, a estirpe BR 3267 é recomendada pela RELARE (Rede de Laboratórios para Recomendação, Padronização e Difusão de Tecnologia de Inoculantes Microbiológicos de Interesse Agrícola), e aprovada, em 2004, para fazer parte da relação dos microrganismos autorizados à produção de inoculantes comerciais para a cultura do feijão caupi no Brasil (ZILLI et al., 2007). De acordo com Ayers e Westcot, (1999), o feijão-caupi tolera a irrigação com água salina com condutividade elétrica de até  $3,3 \text{ dS m}^{-1}$  e uma condutividade elétrica do solo de  $4,9 \text{ dS m}^{-1}$ ; no entanto, este valor da salinidade limiar pode ser variável visto que as concentrações de sais que restringem o crescimento da planta oscilam entre variedades (COSTA et al., 2003).

Sabendo-se que a salinização e/ou sodificação do solo, é responsável pela redução na produção agrícola, culminando quase sempre, com o abandono de áreas agricultáveis, acarretando grandes prejuízos a economia regional. A recuperação desses solos se faz necessário para que as mesmas sejam reincorporadas ao sistema de produção.

Resultados de pesquisa sobre efeitos da aplicação de gesso na nutrição da cultura do feijoeiro, cultivado em solos salino-sódicos, recém-corrigidos, com gesso são escassos, portanto, o presente trabalho teve como objetivo geral:

- Avaliar a eficiência da aplicação de níveis necessidade de gesso utilizados para correção de solos salino-sódicos no crescimento do feijoeiro caupi.

Os objetivos específicos foram:

- Verificar o efeito da aplicação de níveis da necessidade de gesso e lâmina de lixiviação para a correção da salinidade e sodicidade dos solos.

- Avaliar o crescimento, absorção de sódio e nutrientes pelo feijoeiro caupi cultivadas em solos salino-sódicos depois da recuperação.

- Verificar o desbalanceamento catiônico (cálcio + magnésio e potássio).

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1. Solos afetados por sais

A salinidade do solo é normalmente expressa pela condutividade elétrica (CE) do extrato da pasta saturada e a sodicidade do solo pelo percentual de sódio trocável (PST). A classificação de solos afetados por sais elaborada pelo Laboratório de Salinidade dos Estados Unidos e descrito por Richards (1954) encontra-se na Tabela 1.

**Tabela 1.** Classificação de solos afetados por sais

<b>Tipo de Solo</b>	<b>CE (dS m<sup>-1</sup>)</b>	<b>PST (%)</b>
Normal	< 4	<15
Salino	> 4	<15
Salino-sódico	> 4	> 15
Sódico	< 4	> 15

Fonte: Richards (1954)

No Brasil, segundo Ribeiro et al. (2010) solos salinos e sódicos ocorrem no Rio Grande do Sul, no Pantanal Mato-Grossense, no norte de Minas Gerais e predominantemente na Região Semiárida do Nordeste. Solos afetados por sais ocupam uma área de aproximadamente 9,1 milhões de hectares e localizam-se nos perímetros irrigados, encontrados no polígono das secas, perfazendo 57% da área total da região semiárida brasileira (SANTOS et al. 2001).

O semiárido nordestino é caracterizado por baixas e irregulares precipitações pluviométricas e elevada evapotranspiração. Nessas condições, a escassez de água aliada a salinização e sodificação de solos, por processos naturais e, principalmente, decorrentes do manejo inadequado do solo e da água, são os principais problemas existentes (COELHO, 2012). Estima-se que pelo menos três hectares potencialmente aráveis são perdidos a cada minuto em todo o mundo, devido aos processos desalinização e sodificação (QADIR et al., 1998).

Richards (1954); Ferreira (2002) e Barros et al. (2009) citam que, os solos afetados por sais contêm sais solúveis e/ou sódio trocável em quantidades suficientes para reduzir, interferir ou até mesmo impedir o desenvolvimento vegetal. A fonte principal da qual provem esses sais são: os 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 subterrânea transporta e acumula os produtos solúveis das reações de intemperização, transferindo os sais solúveis de uma área para outra, desempenhando importante papel na salinização e sodificação dos solos. Além das causas naturais, o processo induzido pelo homem é o que apresenta maior índice de salinização e degradação dos solos, principalmente com o uso de água contendo sais solúveis em excesso na irrigação, bem como com a elevação do lençol freático pelo excesso de irrigação associado a uma drenagem insuficiente nos solos de baixa condutividade hidráulica, reduzindo e interferindo do desenvolvimento vegetal e na produção agrícola (FREIRE et al., 2003; MONTENEGRO e MONTENEGRO 2004; MELO et al., 2008).

Barros et al. (2005) citam que solos salinos, salino-sódicos e sódicos ocorrem extensivamente sob condições naturais, mas os maiores problemas de salinização são representados por solos anteriormente produtivos, que se tornam salinos devido ao manejo inadequado da irrigação. A alta salinidade e o elevado teor de sódio trocável desses solos são fatores limitantes à sua produtividade, gerando, com isto, sérios problemas de ordem econômica, pois tais solos se tornam inaptos para agricultura, sendo então descartados do sistema de produção. De acordo com Muhlinge e Lauchli (2002) e Silveira et al. (2008) a salinização dos solos tem reduzido consideravelmente a capacidade produtiva de milhões de hectares, em diversas regiões do mundo.

Santos et al. (2001) mencionam que o acúmulo progressivo de sais solúveis e/ou sódio trocável tem afetado desfavoravelmente certos atributos do solo, tais como: variação de pH, reduzindo a solubilidade dos nutrientes o que os torna indisponíveis para as plantas; condutividade elétrica, sódio trocável, flocculação e dispersão do complexo argila-húmus, retenção de umidade e permeabilidade, com efeito deletérios no crescimento e no rendimento das culturas, bem como na biomassa microbiana.

Os problemas de sodificação das terras irrigadas são, em geral, mais agressivos que os de salinidade, pois está relacionado mais à ação do sódio nos solos, prejudicando a estrutura, a infiltrabilidade de água, condutividade hidráulica, drenagem e aeração, pelo aumento na concentração de sódio trocável, carbonato e bicarbonato. Tornando assim o manejo mais difícil, porque altera as propriedades físicas do solo, proporcionando a formação de camadas de impedimento que dificultam os processos naturais, como o movimento livre de ar e água, o crescimento e desenvolvimento do

sistema radicular das plantas (ANJOS, 1993; CAVALCANTE, 2000; ALMEIDA NETO et al., 2009; LEITE et al., 2010).

## **2.2. Recuperação de solos afetados por sais**

De acordo com os pesquisadores, Richards (1954); Rhoades (1974); Ribeiro et al. (2003), a recuperação de solos com problemas de sais solúveis e sódio trocável, em excesso, é de fundamental importância, à medida que possibilitam o seu retorno ao processo de produção.

Para remover os sais solúveis, a lixiviação é o método mais eficaz para a recuperação de solos salinos. A técnica recomendada à aplicação de água em quantidade suficiente para dissolver e transportar os sais solúveis até o sistema de drenagem. A profundidade de recuperação depende do tipo de cultura a ser explorada. Para uma cultura de sistema radicular superficial, a profundidade poderá ser de 60 cm; no entanto, se a cultura a ser explorado apresentar sistema radicular profundo, o solo deverá ser corrigido a cerca de 2,00m de profundidade (BARROS et al., 2005). Entretanto Nolla (2004) enfatiza a necessidade da correção de todo o perfil do solo, para que o sistema radicular das culturas explore um maior volume de solo, resultando em uma maior absorção de água e nutrientes, resultando em um melhor desenvolvimento vegetal.

Os estudos de 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 elevado, 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.

O volume de água necessário e o tempo requerido para lixiviação dependem de vários fatores, tais como; tipo de sais, quantidade de água de lixiviação, permeabilidade do solo, eficiência de sistema de drenagem, profundidade a ser lixiviado e do tipo de lavagem empregada.

A correção dos solos salino-sódicos e sódicos, requerem que o excesso do sódio trocável seja substituído pelo cálcio e que o produto dessa reação seja removido da zona das raízes por lixiviação Barros et al. (2005). Vários corretivos podem ser utilizados na recuperação de solos com excesso de sódio trocável, como gesso, enxofre, sulfato de alumínio, cloreto de cálcio e ácido sulfúrico; entretanto, o gesso é o produto mais comumente usado em razão do seu baixo custo e abundância com que é encontrado na maior parte do mundo. No território brasileiro, as principais reservas de gesso mineral ocorrem associadas às bacias sedimentares entre as quais a do Araripe, que abrange os estados do Piauí, Ceará e Pernambuco, sendo este o pólo mais produtivo de gesso do País, denominado pólo gesseiro do Araripe, ressaltando que esta área é o centro da região semiárida (Santos et al., 2005, Qardir et al., 2005; Ribeiro et al., 2009; Melo et al., 2008; Araújo et al., 2011).

O gesso agrícola ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), um subproduto da indústria de ácido fosfórico, comumente chamado de fosfogesso que contém principalmente sulfato de cálcio e pequenas concentrações de fósforo e ferro também pode ser empregado para correção de solos afetados por sódio. Leite et al. (2010) avaliaram o efeito do ácido sulfúrico e gesso na redução da sodicidade em um solo salino-sódico da Paraíba, confirmaram que o gesso agrícola apresentou maior potencial para deslocar o sódio do complexo de troca, podendo ser melhor indicado para reduzir o teor deste elemento em solos afetados por sais. A relação de troca entre o cálcio advindo do gesso e o sódio trocável do solo, dependem do contato da partícula de gesso com o colóide e da taxa de remoção do sódio da solução do solo (LLYAS et al., 1997).

Os solos sódicos apresentam predominância de argila de alta atividade, elevado teores de sódio trocável e são classificados como solonetzsolodizados (Oliveira et al., 2002). O nível de PST para classificar solos sódicos é questionado por vários autores. Para condições australianas Sumner et al. (1995) definiram que um solo é considerado sódico, quando apresenta uma  $\text{PST} > 6$ , no perfil do solo da superfície até 1 m de profundidade, solos salino-sódicos são aqueles que apresentam excesso de sais solúveis

e alta percentagem de sódio trocável (PST), resultantes dos processos combinados de salinização e sodificação.

Segundo Barros et al. (2004), a quantidade de gesso necessária para reduzir a percentagem de sódio trocável dos solos salino-sódicos e sódicos, pode ser determinado por um teste de laboratório, que envolve o equilíbrio entre o solo e uma solução saturada de gesso ou 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, fórmulas ou determinada por método de laboratório.

O método de laboratório para determinação da necessidade de gesso (NG) descrito e recomendado como padrão pela EMBRAPA (1997) segue o procedimento de Schoonover (1952), que consiste em agitar 5g de uma amostra de solo com uma solução saturada de gesso (100 mL); o decréscimo de cálcio na solução de equilíbrio, quando calculada para corresponder à profundidade do solo no campo, apresenta a necessidade de gesso a ser aplicada no mesmo. Os métodos de laboratório baseiam-se em variações do método de Schoonover, entretanto os sais solúveis presentes no solo interferem na determinação da necessidade de gesso, segundo o procedimento de Schoonover. Os pesquisadores Abrol et al. (1975), Rhoades e Clark (1978), Chauhan e Chuhan (1979) apresentam modificações nesta metodologia, para eliminação da interferência dos carbonatos e bicarbonatos solúveis. Uma pesquisa desenvolvida por Barros e Magalhães (1989) em solos salino-sódicos de Pernambuco, para eliminação da interferência de cálcio e magnésio solúveis, sugerem que esta interferência seja eliminada, determinando-se a concentração de cálcio e magnésio extraído com água, sendo esse valor subtraído da concentração de cálcio mais magnésio, determinando pelo método de Schoonover. Esses autores também demonstram que as quantidades de gesso determinadas por esse método foram semelhantes aos teores de sódio trocável dos solos.

Em trabalho para a recuperação de solo salino-sódico da Paraíba, Santos et al. (1995), constataram que a quantidade de gesso aplicada ao solo, determinada com o uso da metodologia proposta por Barros e Magalhães (1989), mostrou-se eficiente na eliminação do sódio trocável, garantindo o sucesso na recuperação do solo. Após a aplicação de gesso de jazida incorporado ao solo, o autor observou uma acentuada redução nos valores da PST do solo de 50% para 19% depois da aplicação do corretivo. Este efeito também foi observado por Sampaio e Ruiz (1996) aplicando 100% da necessidade de gesso (NG), em dois solos salino-sódicos do Rio Grande do Norte.

Estudando o efeito de níveis de gesso equivalente a 50%, 75% e 100% da (NG) em solos afetados por sódio do estado de Pernambuco, Barros et al. (2006) constataram uma redução da percentagem de sódio trocável (PST) a medida que aumentava o nível de gesso aplicado. Além desses, outros trabalhos também para correção de solos salino-sódicos de Pernambuco foram conduzidos, como, Melo et al. (2008) e Tavares Filho et al. (2012), visando estabelecer estratégias de recuperação desses solos de forma a reintegrá-los à exploração agrícola apresentando o método como eficiente na redução dos teores de sódio trocável em áreas afetadas por sódio.

### **2.3. Efeito dos sais em plantas**

Silveira et al. (2008) e Barros et al. (2009) citam que solos afetados por sais contêm sais solúveis e/ou sódio trocável que podem reduzir significativamente o desenvolvimento e, conseqüentemente, a produtividade das culturas.

Rhoades et al. (1992); Gheyi (2000), Smith et al. (2009) afirmam que altas concentrações de sais no solo, produzem redução no potencial osmótico, causando efeito deletério no crescimento das plantas, a germinação de sementes e no desenvolvimento das raízes. O excesso de sais reduz o desenvolvimento da planta em razão do aumento de energia, que precisa ser desprendida para absorver água do solo, e ao ajustamento bioquímico necessário para sobreviver sob estresse. Segundo Munns (2002) a tolerância das culturas à salinidade tem sido definida como habilidade das plantas em manterem um crescimento contínuo e um metabolismo inalterado em condições de estresse.

Teixeira et al. (1998) e Santana et al. (2009) mencionam que os efeitos de alto teores dos sais sobre os vegetais são: seca fisiológica, proveniente da diminuição do potencial osmótico, desbalanceamento nutricional, devido à elevada concentração iônica, especialmente o sódio, limitando a absorção de outros nutrientes e causando efeito tóxico devido ao acúmulo de íons nos diferentes órgãos das plantas, sobretudo na parte aérea.

Segundo as pesquisas realizadas por Macció et al. (2002), observaram que a deficiência da  $\text{Ca}^{2+}$  no solo para a maioria das espécies cultivadas, sendo como o limitador do crescimento das raízes, tendo nas leguminosas o desenvolvimento de nódulos reduzido. Caires et al. (2001) constataram que a presença de  $\text{Ca}^{2+}$  na solução do solo, em contato com o sistema radicular, é fundamental para a sobrevivência das

plantas, pois este nutriente não se transloca na planta, tornando-a raquítica. Como também, Hussain et al. (2002) notaram que, com o aumento do nível de cálcio na solução do solo, trará para as plantas uma maior proteção das injúrias, causadas pela salinidade e pode-se até mesmo restringir o influxo e translocação de sódio.

O gesso utilizado como corretivo de sodicidade apresenta uma solubilidade de  $2,04\text{g L}^{-1}$  e alta mobilidade no perfil do solo, aumentando a disponibilidade dos íons  $\text{Ca}^{+2}$  e  $\text{SO}^{-2}$  para os vegetais (FERREIRA et al., 2002).

#### **2.4. Feijão caupi**

O feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.), também conhecido como feijão-de-corda, feijão-macassar ou feijão fraudinho, constitui-se na principal cultura de subsistência das regiões Norte e Nordeste do Brasil, especialmente no Sertão Nordestino. A área cultivada com caupi no Brasil é, de aproximadamente 1 milhão de hectares, dos quais cerca de 900 mil (90%) estão situados na região Nordeste do Brasil. Essa cultura apresenta grande importância na alimentação das populações que vivem nessas regiões, principalmente as mais carentes, pois fornece um alimento de alto valor nutritivo, sendo um dos principais componentes da dieta alimentar, gerando também emprego e renda, tanto na zona rural quanto na zona urbana (LIMA et al., 2007).

Segundo Medeiros et al. (2007), o Brasil é o segundo maior produtor do feijão-caupi perdendo apenas para a Índia. Este alimento básico das populações rurais e urbanas do Nordeste Brasileiro é considerado a mais importante leguminosa de grãos e exerce a função de suprir parte das necessidades das populações mais carentes dessa região.

O feijão-caupi é uma das leguminosas mais consumidas no Norte e Nordeste do Brasil, representando importante fonte de proteína, energia, fibras e minerais, além de gerador de emprego e renda (ROCHA, 2009). Cultivado principalmente por agricultores familiares, quer como cultura de subsistência ou comercial, adaptando-se bem às adversidades climáticas e edáficas, em virtude das suas características de rusticidade e precocidade, cita Dantas (2002). Em virtude de sua importância, foi uma das poucas espécies vegetais escolhidas pela National Aeronautics and Space Administration (NASA) para ser cultivada e estudada para ser cultivada nas estações espaciais (EHLERS e HALL, 1997). Apresentando um alto potencial produtivo e alta capacidade de obter nitrogênio (N) em associação com bactérias fixadoras de  $\text{N}_2$  em um processo

denominado Fixação Biológica de Nitrogênio (FNB) (EHLERS e HALL, 1997; RUMJANEK et al., 2005).

O cultivo do feijão-caupi é adaptado a altas temperaturas (20-35°C) e desenvolve-se bem em uma ampla gama de texturas do solo, desde areias a argilas pesadas, se bem drenados, sendo melhor o seu crescimento em solos ligeiramente ácidos a ligeiramente alcalinos (pH 5,5 a 8,3). Como a maioria das leguminosas, não suporta condições de alagamento ou inundação, e uma vez estabelecida, é bastante tolerante a seca. Muitas vezes, é cultivado em sistema de sequeiro, onde recebe pelo menos 600 mm de precipitação anual, ou menos, se obtiver alguma irrigação mínima disponível. A cultura pode-se desenvolver durante o ano todo, em altitudes que variam do nível do mar até 304,80 m. O plantio torna-se limitado em altitudes mais elevadas (até 609,60 m), nos meses mais quentes, primavera e verão (VALENZUELA e SMITH, 2002).

Apresenta também, como características principais, a alta tolerância a estresse hídrico, térmico e salino. No nordeste brasileiro o feijão-caupi é uma das principais culturas da região, sendo considerada fonte de renda alternativa e alimento básico para sua população. Quando comparado com feijão comum (*Phaseolus vulgaris L.*), apresenta maior rendimento em grãos, maior tolerância à salinidade/sodicidade, como também, é mais resistente às pragas, sendo por isso, mais cultivado em áreas irrigadas e não irrigadas (DANTAS et al., 2002; MEDEIROS et al., 2007).

Sendo uma leguminosa bastante cultivada nos semiáridos da África, Brasil e Estados Unidos. Tendo grande importância nas regiões Norte e Nordeste do Brasil e apresenta crescente avanço na região Centro-Oeste, devido à tradição em seu cultivo, comércio e consumo (ROCHA et al., 2009).

O cruzamento do feijão vigna CNCx405-24F X CNCx689-12G gerou o genótipo, *pele de moça*, TE97-309G-18 que apresenta cor do grão marrom claro. Esse mesmo genótipo, estudado por Benvindo et al. (2010) citam que em cultivo irrigado sua produtividade é bastante satisfatória.

Com o aumento no mercado do feijão-caupi, abrem-se novas perspectivas e aplicação de manejo mais adequado para a garantia de um produto de qualidade.

## **2.5. Fixação biológica do nitrogênio**

O nitrogênio (N), por ser um constituinte dos ácidos nucléicos e de proteínas, moléculas fundamentais para todos os processos biológicos é o nutriente requerido em

maior quantidade pelas plantas. É elemento mais abundante na atmosfera terrestre, presente principalmente na forma diatômica ( $N_2$ ) é considerado um macronutriente essencial para as espécies vegetais. Algumas bactérias possuem enzimas com a capacidade de reduzir o  $N_2$  e transformá-lo em amônia, que posteriormente é utilizado na síntese de elementos essenciais, num processo denominado de fixação biológica do nitrogênio (FBN) (HUNGRIA et al., 2007).

Segundo Wendland et al. (2010), o caupi como outras leguminosas é uma planta hospedeira que pode ser nodulada facilmente pelo rizóbio nativo do solo, o que poderia dificultar a nodulação da planta por estirpes mais eficientes introduzidas pela inoculação. Assim, torna-se necessária a seleção de estirpes de rizóbio adaptadas a condições edafoclimáticas específicas, que sejam competitivas e apresentem elevada eficiência simbiótica, visando à obtenção de incrementos nos rendimentos da cultura do caupi.

Zilli et al. (2008) demonstrou que o uso de inoculantes com bactérias eficientes na FBN em condições de campo tem se mostrado uma estratégia importante para o aumento da produtividade do feijão caupi, e quatro estirpes de *Bradyrhizobium* são atualmente recomendadas para esta cultura: UFLA3-84 (SEMIA 6461), BR 3267 (SEMIA 6462), INPA3-11B (SEMIA 6463) e BR 3262 (SEMIA 6464).

A fixação biológica do nitrogênio (FBN) é reconhecidamente eficiente no caupi que, quando bem nodulado, pode dispensar outras fontes de N e atingir altos níveis de produtividade (RUMJANEK et al., 2005). Entretanto é a combinação de vários fatores bióticos e abióticos e que vai determinar o sucesso da inoculação. Através do conhecimento da biodiversidade presente nos diferentes sistemas agroecológicos e das características do organismo a ser introduzido pode-se melhorar a adaptabilidade e capacidade competitiva do rizóbio, fatores determinantes do sucesso da prática da inoculação (STRALIOTTO e RUMJANEK, 1999).

Segundo Chagas Junior et al. (2010) é imprescindível a difusão desta biotecnologia, de baixíssimo custo, para a cultura do feijão-caupi, considerando que a fixação biológica do nitrogênio é um processo ecológico e economicamente vantajoso que pode substituir os fertilizantes nitrogenados.



### **3. MATERIAL E MÉTODOS**

O trabalho foi desenvolvido em duas etapas, uma em laboratório (para avaliar a eficiência do gesso, aplicado ao solo, em função da estimativa de laboratório, nas propriedades químicas) e outra em casa de vegetação (para avaliar a absorção de nutrientes e sódio na cultura do feijoeiro) depois da aplicação de níveis da necessidade de gesso para a correção da sodicidade dos solos.

#### **3.1. Localização do Ensaio**

A pesquisa foi conduzida na Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE) localizada na latitude 08° 00' 57''S e longitude 34° 57' 02''W, em Recife-PE. O experimento foi realizado no Laboratório de Mecânica do Solo e Aproveitamento de Resíduo da UFRPE e em casa de vegetação no Departamento de Agronomia da UFRPE.

#### **3.2. Solo: Localização e Descrição da Área**

Foram coletadas duas amostras de solos (S1 e S2) na profundidade (0 a 40 cm) no Perímetro Irrigado de Ibimirim localizados na zona semiárida do estado de Pernambuco. Em lotes que apresentavam problemas de sais e sódio trocável.

Os solos utilizados nos experimentos foram coletados em camadas superficiais (0 a 40 cm) situados no Perímetro Irrigado de Ibimirim (37°41'24''S de latitude e 08°32'27,6''W de longitude), localizados na zona semiárida do Estado de Pernambuco. Em áreas que apresentavam problemas de sais e sódio trocável. Nestas áreas foram coletadas duas amostras dos solos (S1 e S2). Foram classificados por Ribeiro et al. (1999) como Neossolos Flúvicos.

A área de estudo situando-se nos domínios da Bacia Hidrográfica do Rio Moxotó dos quais 8.772,32 km<sup>2</sup> pertencem ao Estado de Pernambuco (8,92% de sua área), sendo o principal corpo de acumulação de água o açude Eng. Francisco Sabóia, conhecido localmente como açude Poço da Cruz, com capacidade de armazenamento de 504.000.000 m<sup>3</sup> (APAC, 2013).

O clima dominante de Ibimirim é o do tipo semiárido quente, ou BSh segundo a classificação do Köppen, com temperatura média anual de 25°C e apresentando valores médios de precipitação pluvial de aproximadamente 500 mm ano (TEMÓTEO, 2000).

### 3.3. Caracterização solo

#### 3.3.1. Caracterização física dos solos

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. Na caracterização física, seguindo o procedimento da EMBRAPA (1997), foram determinados: a condutividade hidráulica ( $K_0$ ); a densidade do solo ( $D_s$ ) pelo método do torrão parafinado; a densidade das partículas ( $D_p$ ) de acordo com o método do balão volumétrico; a composição granulométrica, após lavagem do solo com etanol a 60% até eliminação total de cloretos, utilizando o método do densímetro (Tabela 2).

**Tabela 2.** Característica física das amostras dos solos

Solos	Análise Granulométrica			Classificação Textural	$K_0$ cm h <sup>-1</sup>	$D_p$ Kg dm <sup>-3</sup>	$D_s$
	Areia	Silte	Argila				
	-----%-----						
S1	13,90	56,20	29,90	Franco- Argilo- Siltoso	0,00	2,52	1,36
S2	34,20	41,60	24,20	Franco	0,00	2,45	1,45

$K_0$  - Condutividade hidráulica;  $D_p$  - Densidade das Partículas;  $D_s$  - Densidade do solo.

#### 3.3.2. Caracterização do extrato da pasta saturada dos solos

O extrato de saturação foi obtido segundo a metodologia descrita por Richards (1954); determinaram-se, no extrato da pasta saturada, a condutividade elétrica (CE), cálcio e magnésio, por espectrofotometria de absorção atômica, sódio e potássio por fotometria de chama. Com os valores obtidos para cálcio, magnésio e sódio solúveis, quantificaram-se os valores para a relação de adsorção de sódio RAS, usando a expressão  $RAS = Na^+ / [(Ca^{2+} + Mg^{2+})/2]^{1/2}$ . Os resultados encontram-se na Tabela 3.

**Tabela 3.** Características do extrato de saturação dos solos

Solos	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	CE	RAS
	-----mmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup> -----				--dS m <sup>-1</sup> --	mmol L <sup>-1</sup>
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

### 3.3.3. Características químicas das amostras de solos

Aplicando ainda a metodologia sugerida por Richards (1954), foram determinados: o pH dos solos na relação solo-água (1:2,5), a capacidade de troca de cátions (CTC) pelo método do acetato de sódio. Após a extração, o sódio e o potássio foram determinados por fotometria de chama, e o cálcio e o magnésio por espectrofotometria de absorção atômica. A percentagem de sódio trocável (PST) foi obtida a partir dos dados da CTC e do sódio trocável pela equação  $PST = (Na^+/CTC) \times 100$  (Tabela 4).

**Tabela 4.** Características químicas das amostras de solos

Solos	Cátions Trocáveis				NG	CTC	PST	pH
	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>				
	-----cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----							
S1	3,28	1,28	8,13	0,85	9,38	13,50	60,04	7,18
S2	2,89	1,16	4,75	0,82	5,98	9,60	49,38	7,10

Para a determinação da necessidade de gesso (NG), foi utilizada uma modificação do método de Schoonover (Schoonover M-1), desenvolvida por Barros e Magalhães (1989), para solos salino-sódicos de Pernambuco.

### 3.3.4. Características de fertilidade dos solos

As análises de fertilidade dos solos (Tabela 5) foram realizadas seguindo a metodologia descrita por EMBRAPA (1997).

**Tabela 5.** Caracterização da fertilidade dos solos

Solos	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Al <sup>3+</sup>	P	Matéria Orgânica
	-----cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----				mg dm <sup>-3</sup>	----dag Kg <sup>-1</sup> ----
S1	5,60	1,58	0,90	0,00	220	0,82
S2	3,95	1,45	0,54	0,00	210	1,58

### 3.4. Descrição dos tratamentos

Os tratamentos consistiram em aplicações de gesso em quantidades equivalentes a 50%, 100%, 150%, 200% e 250% da necessidade de gesso (NG) do solo.

O gesso utilizado foi um produto comercial, extraído de jazida localizada em Araripina-PE. A fração granulométrica utilizada foi de partículas < 0,3 mm de diâmetro, sendo incorporado na primeira camada antes do seu acondicionamento.

### 3.5. Condução do ensaio de laboratório

As unidades experimentais foram constituídas de tubos plásticos de PVC com 10 cm de diâmetro e 30 cm de altura. Uma das extremidades foi fechada 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.

Inicialmente as colunas de solos foram umedecidas lentamente até atingir a saturação (capacidade de vaso) segundo a metodologia proposta por Casaroli e Jong van Lier (2008) que é definida como a quantidade máxima de água retida pelo solo dentro de um recipiente, quando a drenagem se torna insignificante permanecendo nesta umidade por 24 horas para estabelecimento do equilíbrio do sistema. Para evitar perdas

por evaporação, as colunas foram cobertas com papel filme. Em seguida as colunas de solo foram lixiviadas. Aplicadas três lâminas de lixiviação, com um intervalo de cinco dias entre as lâminas de lixiviação de 95,60 mm.

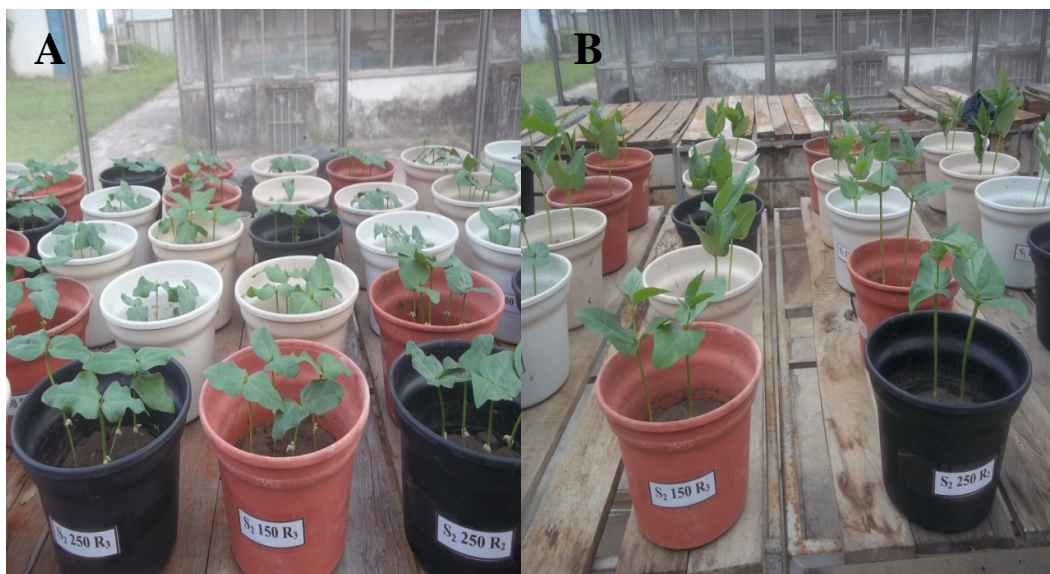
Depois da lixiviação, as colunas foram desmontadas e os solos de cada camada foram secos ao ar, destorroados e passados em peneira de 2 mm de abertura, determinado, o sódio trocável do solo e a condutividade elétrica (CE) do extrato da pasta saturada, de acordo com a metodologia descrita anteriormente. Com os dados de sódio trocável e a CTC, quantificou o valor da percentagem de sódio trocável (PST), utilizando as metodologias descritas anteriormente.

### **3.6. Condução do ensaio da casa de vegetação**

Os solos após aplicações de gesso em quantidades equivalentes a 50%, 100%, 150%, 200% e 250% da necessidade de gesso (NG) do solo. Os solos de cada camada foram homogeneizados, colocados de 2 kg em vasos plásticos, tendo sido vendados todo seu sistema de drenagem e plantados feijão-caupi cultivar *pele de moça*, por ser resistente às condições edafoclimática da região semiárida.

Antes do plantio procedeu-se à desinfestação das sementes imergindo-as por 1 minuto em álcool a 70%; em seguida, por 30 segundos em hipoclorito de sódio a 1 %, por último, lavando-as sete vezes sucessivas com água destilada, com a finalidade de retirar o excesso de hipoclorito. Para a inoculação das sementes foi utilizado um inoculante turfoso contendo a estirpe de *Bradyrhizobium japonicum* (BR 3267) ou (SEMIA 6462) fornecido pelo Laboratório de Microbiologia da UFRPE. Cinco sementes foram plantadas diretamente nos vasos. A semeadura foi realizada usando bastão de vidro com controle de profundidade, para garantir a colocação da semente de forma homogênea com profundidade aproximada de 1 cm da superfície. Após sete dias foi realizado um desbaste, deixando-se duas plantas por vaso (Figura 1).

É oportuno salientar que os solos em condições originais, sem aplicação do corretivo também foram semeados, verificando-se que não houve germinação das sementes (Figura 2). Estes resultados provavelmente são atribuídos à presença de elevados valores para sódio trocável, PST= 60,01 e 49,38 % para o solo S1 e S2 respectivamente, que impediu a absorção de água pela semente, devido a dispersão das argilas (degradação da estrutura).



**Figura 1.** Solos depois da aplicação dos níveis da NG do solo com cinco plantas de feijão-caupi por vaso (A) e (B) Após realização do desbaste da cultura, deixando duas plantas de feijão-caupi por vaso.



**Figura 2.** Solos salino-sódicos (S1 e S2) semeados com feijão-caupi.

Tendo em vista a ocorrência de tripes e ácaro-vermelho, para o seu controle imediato, foi feita uma aplicação de Vertimec a 1%, aplicado na parte aérea através de borrifação, tomando-se cuidado para não contaminar o solo.

Ao longo do experimento na casa de vegetação, os vasos foram mantidos com umidade do solo entre 70-80% da “capacidade de vaso”.

Transcorridos 40 dias após a semeadura, período em que a fixação biológica de nitrogênio pelas estirpes de *Bradyrhizobium* encontram-se em sua fase de maior atividade enzimática, as plantas foram colhidas, para avaliação dos parâmetros da fixação biológica de Nitrogênio (FBN), nodulação: número e peso da massa seca dos nódulos. Como também o acúmulo de massa seca da parte aérea, e os teores de nutrientes (nitrogênio, cálcio, magnésio, potássio e fósforo) e o teor de sódio absorvido pelas plantas.

A parte aérea foi separada das raízes, os nódulos foram retirados, contados e levados para secar em estufa com ventilação forçada a 65 - 75°C, até atingir temperatura constante, para obter a massa seca nodular. A parte aérea foi acondicionada em sacos de papel devidamente identificados e colocada também em estufa com ventilação forçada a 65 - 75°C, até atingir temperatura constante, para a obtenção da massa seca em seguida pesados em balança de 0,01 g de precisão e posteriormente moídos, (moinho tipo Willey). Posteriormente, foi moída e preparou-se os extratos específicos para obtenção de cada nutriente, descritas e publicadas por Bezerra Neto e Barreto (2011). Nitrogênio Total (N)- Método de arraste de vapor (Kjeldahl); Cálcio ( $\text{Ca}^{+2}$ ) e Magnésio ( $\text{Mg}^{+2}$ ) – Método utilizando espectrofotometria de absorção atômica; Sódio ( $\text{Na}^{+}$ ) e Potássio ( $\text{K}^{+}$ ) – Método de fotometria de chama e Fósforo (P) – Método Colorimétrico do Molibdo-vanadato.

### **3.7. Delineamento experimental**

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

### **3.8. Análise estatística**

Os dados obtidos foram interpretados por meio de análise de variância e de regressão, testando-se diversos modelos. Os critérios para escolha do modelo foram os maiores valores do coeficiente de determinação e a significância dos coeficientes da equação de regressão. A análise de variância foi realizada com auxílio do programa Assistência Estatística (ASSISTAT Versão 7.6 beta, 2011).

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1. Sódio trocável, percentagem e sódio trocável (PST) e condutividade elétrica (CE) da pasta saturada dos solos

Os resultados obtidos para sódio trocável e para percentagem de sódio trocável (PST) encontram-se na Tabela 6. Analisando esses valores é possível observar que independentemente dos níveis da necessidade de gesso (NG) utilizados, ocorreu uma grande diminuição dos teores de sódio trocável em relação aos valores originais (Tabela 4). Os valores obtidos para sódio trocável comprovam a eficiência do gesso aplicado ao solo na substituição do sódio adsorvido no complexo de troca pelo cálcio do corretivo.

Pode-se observar também, que a aplicação do nível de 50% da necessidade de gesso não foi suficiente para correção da sodicidade dos solos (S1 e S2), já que permaneceram com uma percentagem de sódio trocável (PST) > 15%. A correção não ocorreu neste nível provavelmente devido à quantidade de corretivo aplicado não ser suficiente para ocorrer uma maior substituição do sódio pelo cálcio, conseqüentemente essas amostras de solos ainda apresentaram o caráter sódico. Para os outros níveis da NG aplicados (100, 150, 200 e 250%), constatou-se a mesma tendência de diminuição da PST para valores > 15%, que originalmente eram 60,04% para o solo S1 e 49,38% para o solo S2. Confirmando-se que o nível de 100% da NG do solo determinado pelo método de Schoonover- M1 foi eficaz para a correção da sodicidade das amostras de solo (PST < 15%), entretanto para os demais tratamentos não ocorreu uma redução tão acentuada. Indicando que a utilização de níveis maiores que o determinado pelo a metodologia Schoonover M-1 (100%) não é recomendada por acarretar em mais gasto com corretivo. Este comportamento também foi constatado por Silveira et al. (2008), trabalhando com solos salino-sódicos de Custódia-PE adicionando gesso na água de irrigação, os autores observaram que o gesso aplicado corrigiu a PST para valores < que 15%.

Os valores obtidos para condutividade elétrica (CE) do extrato da pasta saturada encontrados comprovam a eficiência do gesso incorporado ao solo (Tabela 6) depois da aplicação do corretivo e de lâminas de lixiviação para os três primeiros níveis (50; 100 e 150%) da NG dos dois solos (S1 e S2), foram reduzidos para valores menores ou igual a 4,00 dS m<sup>-1</sup>. Quando foram utilizados os níveis de 200 e 250% da NG, observa-se que o



processo de correção da salinidade não ocorreu. Estes resultados indicam que uma lâmina igual a três volumes de poros não foi suficiente para lixiviar o excesso de sais ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) para a água de drenagem.

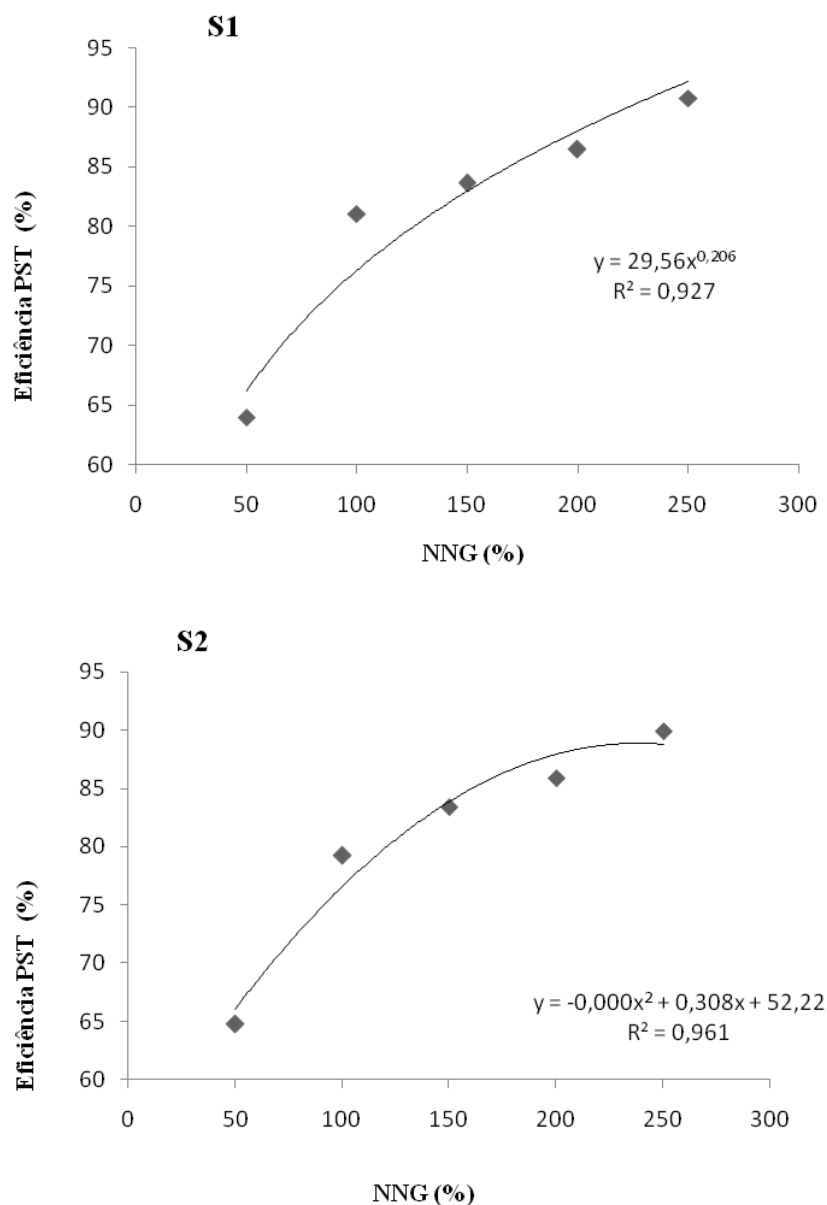
De acordo com Ayeres e Westcot (1999), citam que o feijão-caupi é considerado uma espécie moderadamente tolerante a salinidade, com salinidade limiar em torno de  $4,9 \text{ dS m}^{-1}$ , não apresentando redução na produtividade. Dantas et al. (2002) em pesquisa para avaliação de genótipos de caupi sob salinidade, utilizando para estes estudos 50 genótipos, verificaram que os genótipos podem ser classificados para tolerância a salinidade com base na redução do percentual da massa seca da parte aérea. Os autores concluíram que todos os genótipos apresentaram reduções estatisticamente significativas, na produção da massa seca da parte aérea em função do aumento da salinidade do solo, e dos genótipos testados apenas o IPA 2001 e EPACE 10 foram tolerantes quando submetidos a uma CE  $3,0 \text{ dS m}^{-1}$ , todos os genótipos restantes apresentaram diminuição na massa seca da parte aérea quando submetidos a essa CE.

Observa-se também que quando foi utilizado nível de 200 e 250% da NG ocorreu uma redução na eficiência da CE de 92% para o S1, enquanto que para o S2 a redução na eficiência da CE foi de 88%, isto provavelmente deve ter ocorrido devido a textura dos solos.

**Tabela 6.** Resultados de Sódio trocável ( $\text{Na}^+$ ), percentagem de sódio trocável (PST), eficiência da PST, condutividade elétrica (CE) do extrato da pasta saturada e eficiência da CE.

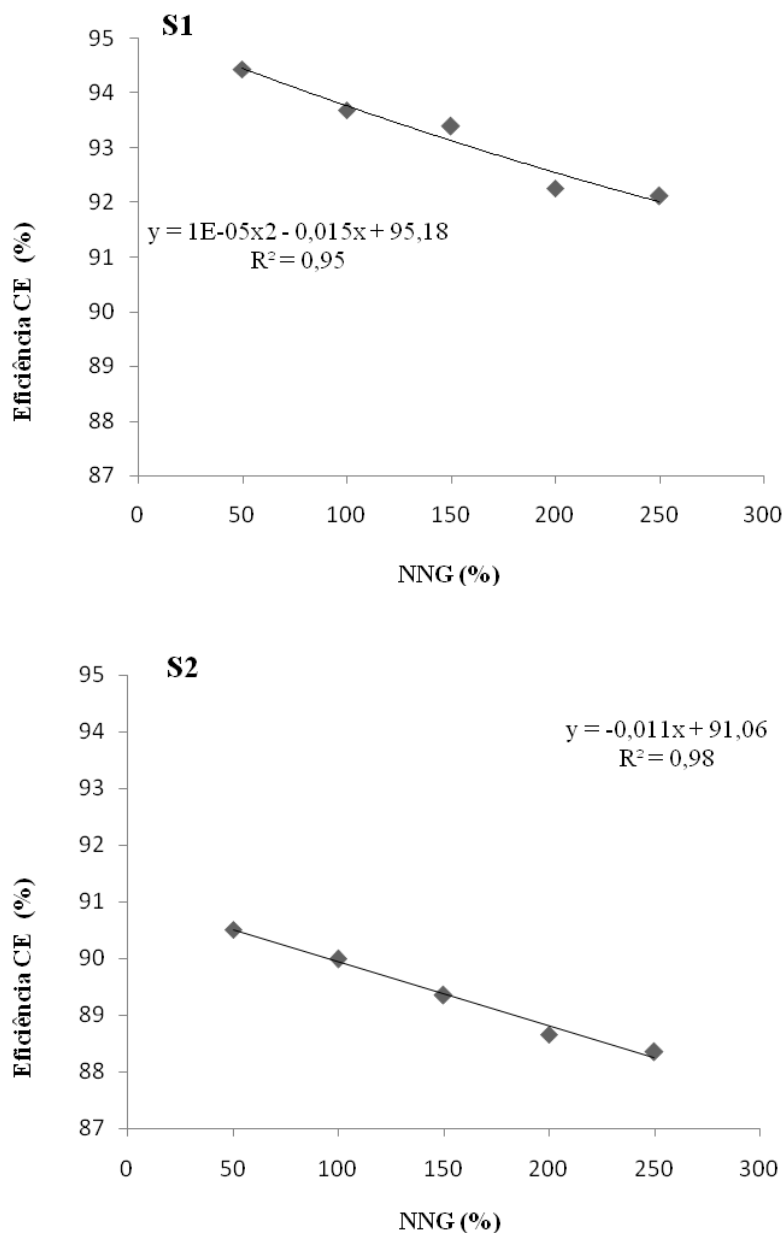
Solos	NG	$\text{Na}^+$	PST	Eficiência	CE	Eficiência da
	%	$\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$	%	da PST	$\text{dS m}^{-1}$	CE
S1	50	2,93	21,67	63,96	3,37	94,44
	100	1,54	11,39	80,69	3,82	93,70
	150	1,33	9,84	83,64	4,00	93,40
	200	1,10	8,14	86,47	4,69	92,26
	250	0,75	5,55	90,77	4,78	92,11
S2	50	1,85	19,23	61,06	3,43	90,51
	100	1,09	11,33	77,05	3,62	89,99
	150	0,87	9,04	81,69	3,85	89,35
	200	0,74	7,69	84,42	4,10	88,66
	250	0,53	5,51	88,86	4,21	88,36

As relações entre as variáveis independentes, níveis da necessidade de gesso (NNG) e as variáveis dependentes eficiência da percentagem de ódio trocável (PST), apresentaram elevados coeficientes de determinação ( $R^2= 0,92$  para o solo S1 e  $R^2= 0,96$  para o solo S2) podem ser descritas por uma função quadrática (Figura3). Estes resultados são devidos à presença de sódio trocável no cálculo da PST do solo. Comportamento semelhante foi observado por Tavares Filho (2012) trabalhando com a recuperação de solos salino-sódicos de Ibimirim-PE. Esse autor encontrou coeficiente de determinação variando ente 0,97 a 0,98.



**Figura 3.** Relação entre a eficiência da percentagem de sódio trocável (PST) e os níveis de necessidade de gesso (NNG) para os solos (S1 e S2).

A relação entre os níveis da NG e a eficiência da CE para os S1 e S2 foram testadas, os resultados encontram-se na Figura 4. Apresentando alto valor do coeficiente de determinação de 0,95 e 0,98 para os S1 e S2 respectivamente. Testando modelos de regressão para explicar a remoção dos sais, Moura (1989) demonstrou que o modelo quadrático foi eficaz para descrever o processo de lixiviação dos sais solúveis em solo salino-sódico.



**Figura 4.** Relação entre a Eficiência da condutividade elétrica (CE) do estrato da pasta saturada e os níveis de necessidade de gesso (NNG) para os solos (S1 e S2).

#### 4.2. Números e biomassa dos nódulos, nitrogênio na parte aérea e crescimento vegetativo

O efeito da aplicação de níveis crescentes da necessidade de gesso (NG) sobre o número de nódulos (NN), massa seca de nódulos (MSN), massa seca da parte aérea (MSPA) e teor nitrogênio (N) da parte aérea de caupi para os solos (S1 e S2) encontram-se na Tabela 7.

**Tabela 7.** Resultados das médias do número de nódulos (NN), matéria seca dos nódulos (MSN), matéria seca da parte aérea do feijão-caupi (MSPA), teor de nitrogênio (N) e altura da parte aérea do feijão caupi (APA).

Solos	NG	NN	MSN	MSPA	N	APA
	(%)	-(n°/planta)-	------(g)-----	---	---(g kg <sup>-1</sup> )---	--(cm)--
S 1	50	48,00	0,17	6,18	14,37	37,05
	100	82,33	0,30	7,00	16,53	44,40
	150	120,33	0,35	7,64	17,42	47,09
	200	71,00	0,27	6,52	15,58	42,45
	250	62,00	0,25	6,38	15,01	39,73
S 2	50	60,66	0,19	7,14	21,77	42,13
	100	81,66	0,20	8,13	24,42	47,44
	150	96,66	0,25	9,20	25,60	49,83
	200	123,33	0,37	9,76	27,68	52,90
	250	162,00	0,67	10,72	30,94	54,82

Pode ser verificado que para o solo de textura Franco-argiloso-siltoso (S1) ocorre um incremento no número de nódulos e massa seca dos nódulos até o nível de 150% da NG e decréscimo quando foi aplicados os níveis mais elevados (200% e 250% da NG) resultou em uma condutividade elétrica (CE) > 4,7 dS m<sup>-1</sup>, a qual afetou o desenvolvimento da bactéria proporcionando um menor número de nódulos e consequentemente redução da massa seca dos mesmos. Ayers e Westcot (1999) citam que o caupi é uma planta moderadamente tolerante a salinidade não apresentando danos

em concentração salina medida pela condutividade elétrica em torno de 4,0 dS m<sup>-1</sup>. Entretanto, no presente estudo o valor de CE foi inferior a este valor. Contudo, o grau de tolerância do feijão ao estresse salino varia entre genótipos (Dantas et al. 2002). Estes dados estão coerentes com os encontrados por Chagas Junior et al. (2010) em estudos sobre a eficiência de estirpes de rizóbio inoculadas em feijão-cupi. Utilizando cinco estirpes de rizóbio, BR 3302 (UFLA 3-84), BR 3301 (INPA 03-11B), BR 3262, BR 3299 e BR 3267, observam que a BR 3267 apresenta o menor desempenho para o número de nódulo em relação às outras estirpes estudadas. Resultados semelhantes foram encontrados por Wendland et al. (2010) usando como padrão de referência comparativa as estirpes UFLA 03-84, BR 3262 e BR 3267, por serem recomendadas para a produção de inoculante comercial no Brasil para caupi e 50 isolados de rizóbio nativo, verificaram que tanto o número de nódulo, como a produção de massa seca dos nódulos foram superiores para os 50 isolados nativos em relação a inoculação com a BR 3267. Dados divergentes foram encontrados por Melo e Zilli (2009) no experimento em casa de vegetação, sendo observado maior número de nódulos e massa seca dos nódulos em plantas inoculadas com a estirpe BR 3267 em relação à inoculação com a estirpe BR3262.

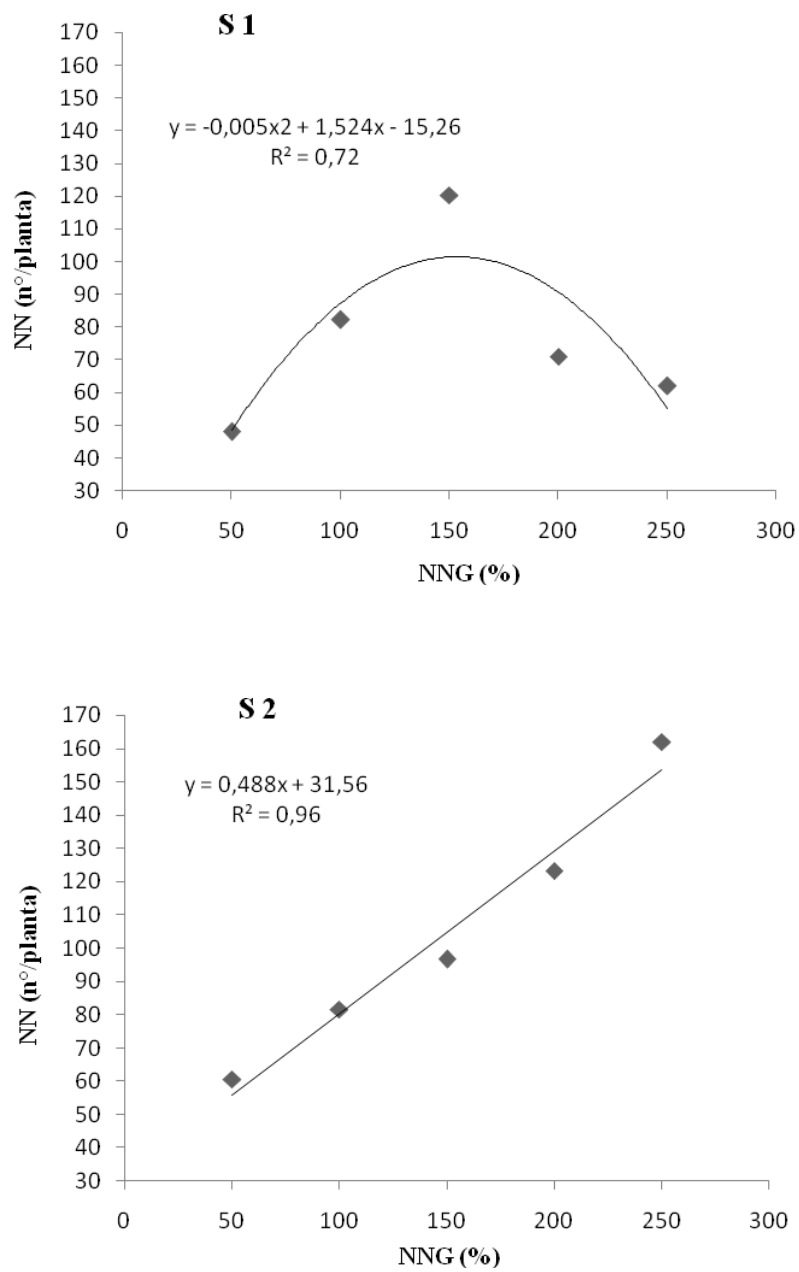
Pode ser observado que o teor de nitrogênio e massa seca da parte aérea (Figuras 3 e 5) apresentaram comportamento semelhante, ocorrendo um aumento até a aplicação do nível de 150 % da NG seguida de decréscimo quando foram utilizados os maiores níveis da NG. Estes resultados são consequência da menor nodulação, resultando na diminuição na fixação simbiótica do nitrogênio, portanto, menor quantidade de nitrogênio disponível para as plantas. O nitrogênio é o nutriente responsável pelo desenvolvimento vegetativo, temos como resultado diminuição da altura das plantas e massa seca da parte aérea. Quando foi utilizado o nível de 50% da NG a diminuição nos valores dessas variáveis em relação aos níveis de 100 e 150% da NG é consequência do teor de sódio trocável do solo. Quando foi aplicado este nível da NG, o solo não foi corrigido quanto à sodicidade (PST= 21,64%) e o efeito adverso do teor de sódio trocável sobre as características físicas como infiltração e permeabilidade de água no solo, acarretam diminuição dos valores encontrados para todas as variáveis estudadas. Os resultados indicam que uma CE > 4,7 dS m<sup>-1</sup> e uma PST > 21%, provavelmente afetaram o desenvolvimento da estirpe de bactéria usada.

A interferência dos teores de sódio trocável sobre o desenvolvimento do feijão caupi foram estudadas por Smith et al. (2009), os autores relatam que a redução dos

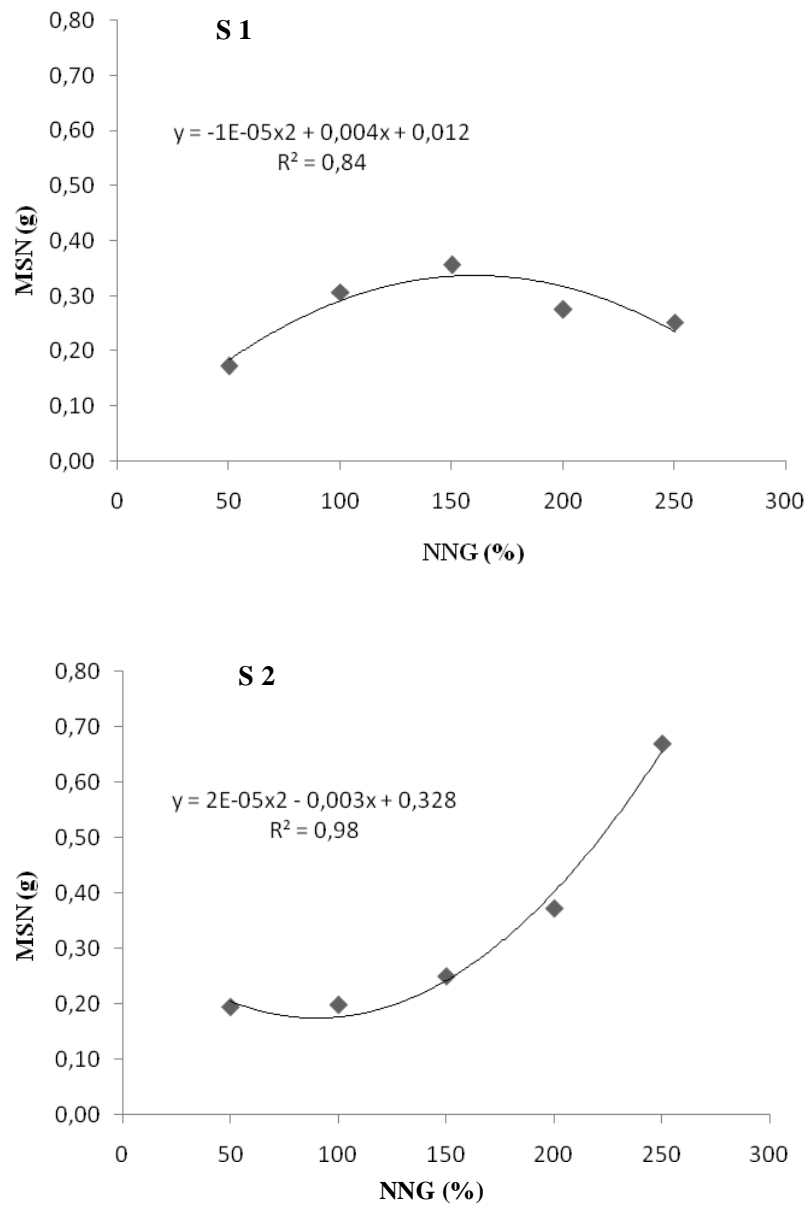
teores de sódio trocável do solo contribui para aumentar a condutividade hidráulica do solo, favorecendo assim a distribuição de água e nutrientes e conseqüentemente maior crescimento das plantas.

Para a amostra de solo franco (S2) os resultados obtidos para o número de nódulos, a massa seca dos nódulos, teor de nitrogênio da parte aérea foi proporcional ao aumento dos níveis de gesso aplicados. Os menores valores obtidos dessas variáveis foram encontrados para o nível da aplicação de 50% da necessidade de gesso. Este fato é explicado pelo maior teor de sódio trocável do solo neste nível, as características físicas apresentadas pelo solo sódico tornam o meio desfavorável à vida microbiana, ou seja, menor nodulação e massa seca dos nódulos e conseqüentemente menor teor de nitrogênio disponível, o que acarreta menor desenvolvimento do vegetal.

As relações para estas variáveis e os níveis da NG aplicada foram testadas e os resultados encontram-se nas Figuras 5, 6, 7 e 8. Os coeficientes de determinação obtidos variam de  $R^2= 0,72$ ;  $R^2= 0,84$ ;  $R^2= 0,70$  a  $R^2= 0,81$  para o solo S1 é de  $R^2= 0,96$  a  $R^2= 0,98$ ;  $R^2= 0,99$ ;  $R^2= 0,99$  a  $R^2= 0,97$  para o solo S2, respectivamente. Estes resultados indicam haver uma boa relação entre estas variáveis e os níveis da necessidade de gesso aplicados.

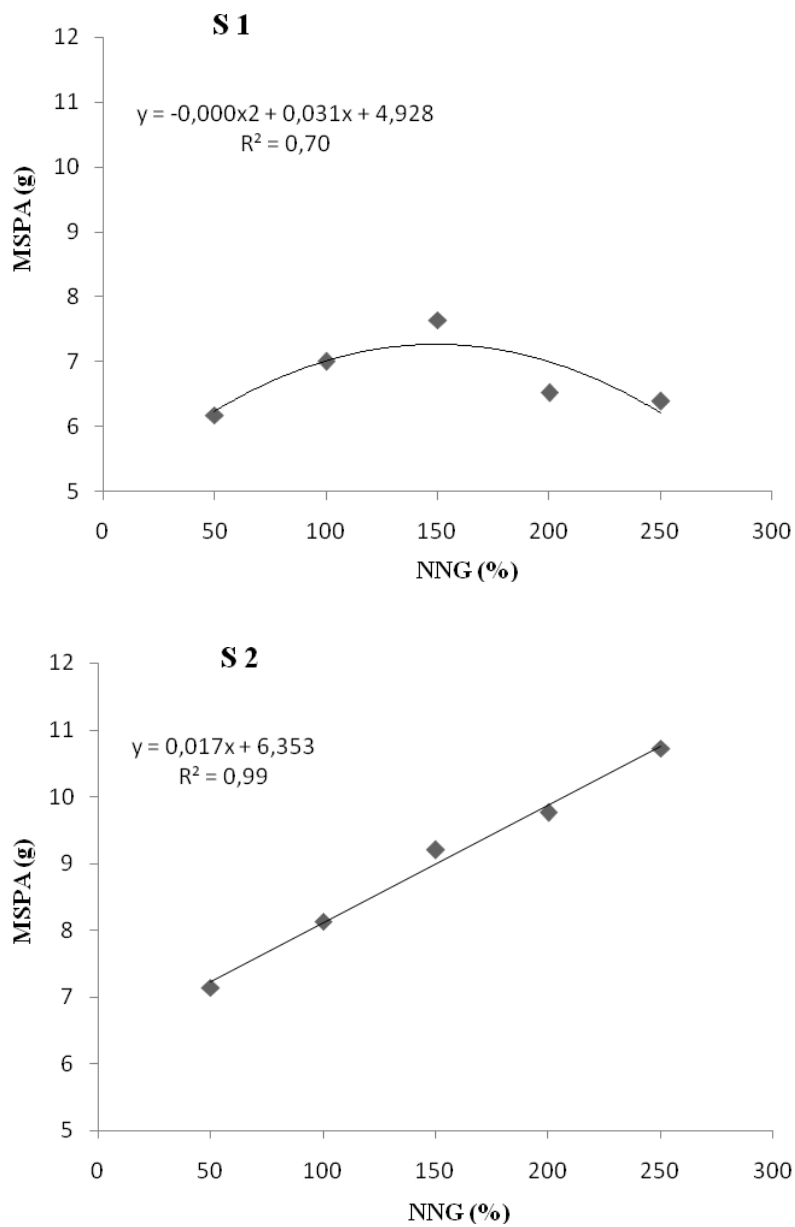


**Figura 5.** Relação entre os números de nódulos (NN) na raiz do feijão-caupi e os níveis de necessidade de gesso (NNG) para os solos (S1 e S2).

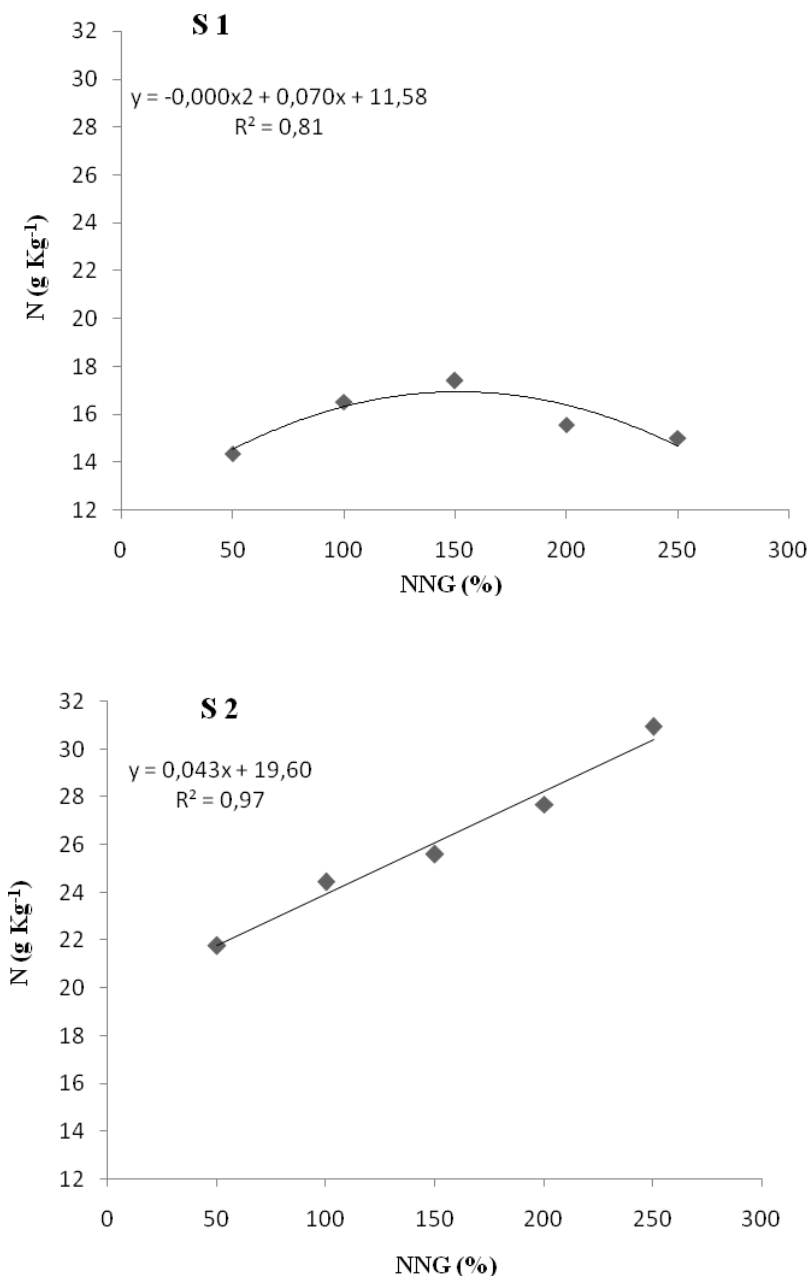


**Figura 6.** Relação entre massa seca dos nódulos (MSN) do feijão-caupi e os níveis de necessidade de gesso (NNG) para os solos (S1e S2).





**Figura 7.** Relação entre massa seca da parte aérea (MSPA) do feijão-caupi e os níveis de necessidade de gesso (NNG) para os solos (S1 e S2).

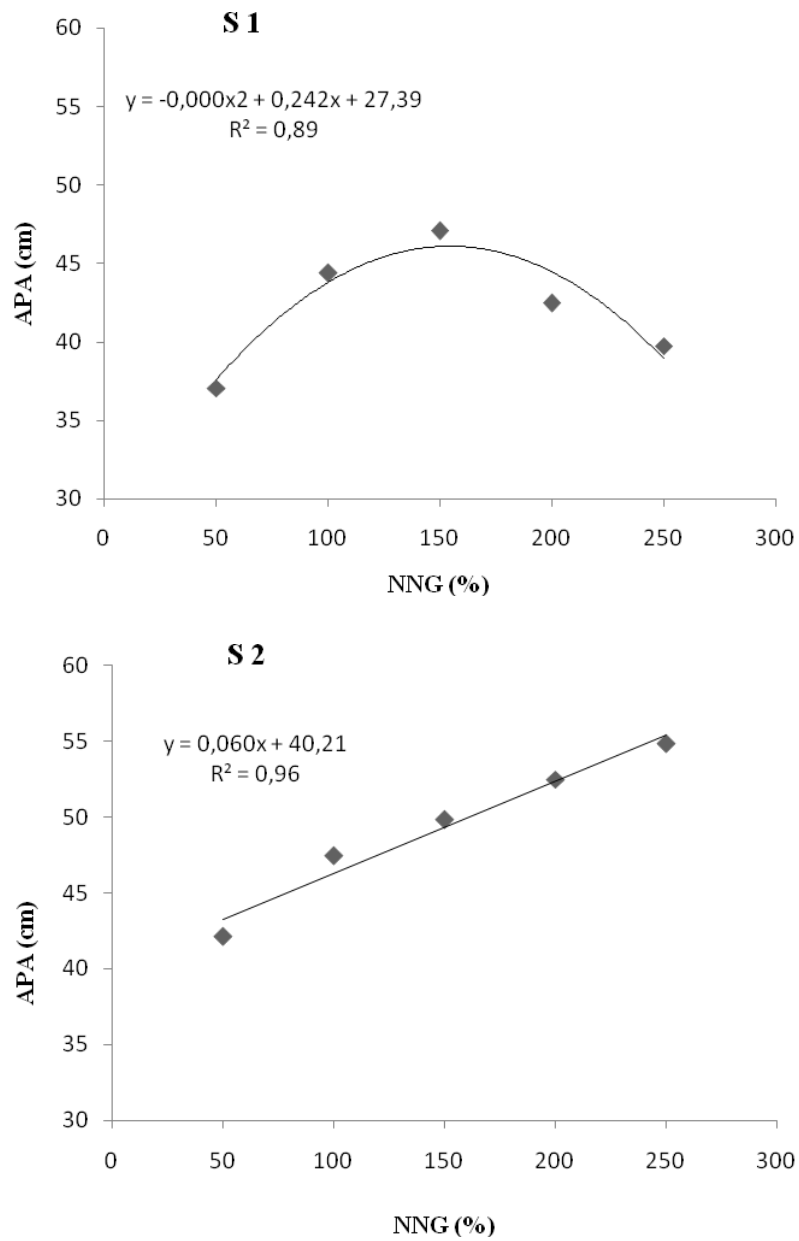


**Figura 8.** Relação entre os teores de nitrogênio (N) parte aérea do feijão-caupi e os níveis de necessidade de gesso (NNG) para os solos (S1 e S2).

Os resultados referentes à altura das plantas submetidos a níveis crescentes da NG do solo estão apresentados na Tabela 7. Para o solo Franco-argilo-siltoso (S1), observa-se um aumento na altura do feijoeiro nos níveis de 100 e 150% da NG, seguida de um decréscimo nos níveis de 200 e 250 % da NG, quando a CE do extrato de saturação do solo ficou em torno de 4,7 dS m<sup>-1</sup>. Coelho et al. (2013) trabalhando com feijão-caupi e

níveis de salinidade (2,0; 4,0; 8,0 e 12,0 dS m<sup>-1</sup>), constatou que a partir do nível de CE do extrato de saturação do solo igual a 4,00 dS m<sup>-1</sup> ocorreu diminuição na altura das plantas sendo esta redução drástica, com valores de 75% e 85% para o solo Franco-Arenoso e solo Franco-Argiloso, respectivamente. No tratamento de maior salinidade, em comparação ao tratamento não salino. Os autores explicam que esta redução no crescimento do feijoeiro vigna é devido a diminuição do potencial osmótico da solução do solo o qual ocasionou maior dificuldade de absorção de água e nutrientes, bem como, pela possibilidade da ocorrência de toxicidade iônica em função do acúmulo excessivo possivelmente do cátion sódio e do anion cloreto. Para o solo Franco (S2) pode ser observado comportamento diferenciado indicando que até o nível de CE próxima a 4,0 dS m<sup>-1</sup> a salinidade não afetou o crescimento do feijoeiro, nota-se também, um pequeno incremento na altura das plantas com o aumento do nível de CE. Este fato é explicado possivelmente pelo maior teor de cálcio e magnésio advindo do corretivo, disponível para a absorção vegetal e como a CE apresentada nesta amostra de solo era menor que o solo S1, não houve efeito adverso da mesma sobre o crescimento vegetal.

A relação entre os níveis da necessidade de gesso dos solos (S1 e S2) e a altura das plantas foram testadas e os resultados encontram-se na Figura 9. Avaliando essa relação para o solo S1, permite afirmar que o modelo quadrático é o que melhor se ajusta, apresentando o coeficiente de determinação igual a 0,89. Comportamento semelhante foi verificado por Miranda et al. (2008), em estudos aplicando concentrações crescentes de cloreto de cálcio (2, 3, 5, 9, 15 e 25 mmol<sub>c</sub> L<sup>-1</sup>) em solos salino-sódicos da Paraíba e avaliando o comportamento do sorgo, encontraram um coeficiente de determinação de 0,73. Esses autores afirmam que a salinidade das soluções aplicadas passa a ser fator limitante em concentrações mais elevadas de cloreto de cálcio. Verificando o comportamento dessa mesma relação para o solo S2, o modelo que melhor representou a resposta das plantas foi do tipo linear e crescente, obtendo um coeficiente de determinação de 0,96. Resultados divergentes foram relatados por Silva et al. (2009), em estudos com feijão-caupi e irrigando com níveis de salinidade (0,5; 2,13; 2,94; 3,5 e 5,0 dS m<sup>-1</sup>), encontrando uma redução na altura em cerca de 42,86% nas plantas irrigadas com o maior nível salino, obtendo um coeficiente de determinação igual a 0,89.



**Figura 9.** Relação entre a altura da parte aérea (APA) do feijão-caupi e os níveis de necessidade de gesso (NNG) para os solos (S1 e S2).

### 4.3. Teor dos elementos cálcio, magnésio, potássio, fósforo e sódio na parte aérea do feijão-caupi

Os resultados obtidos para os teores de cálcio e sódio na parte aérea das plantas encontram-se na Tabela 8. Pode ser observado comportamento oposto entre estas variáveis.

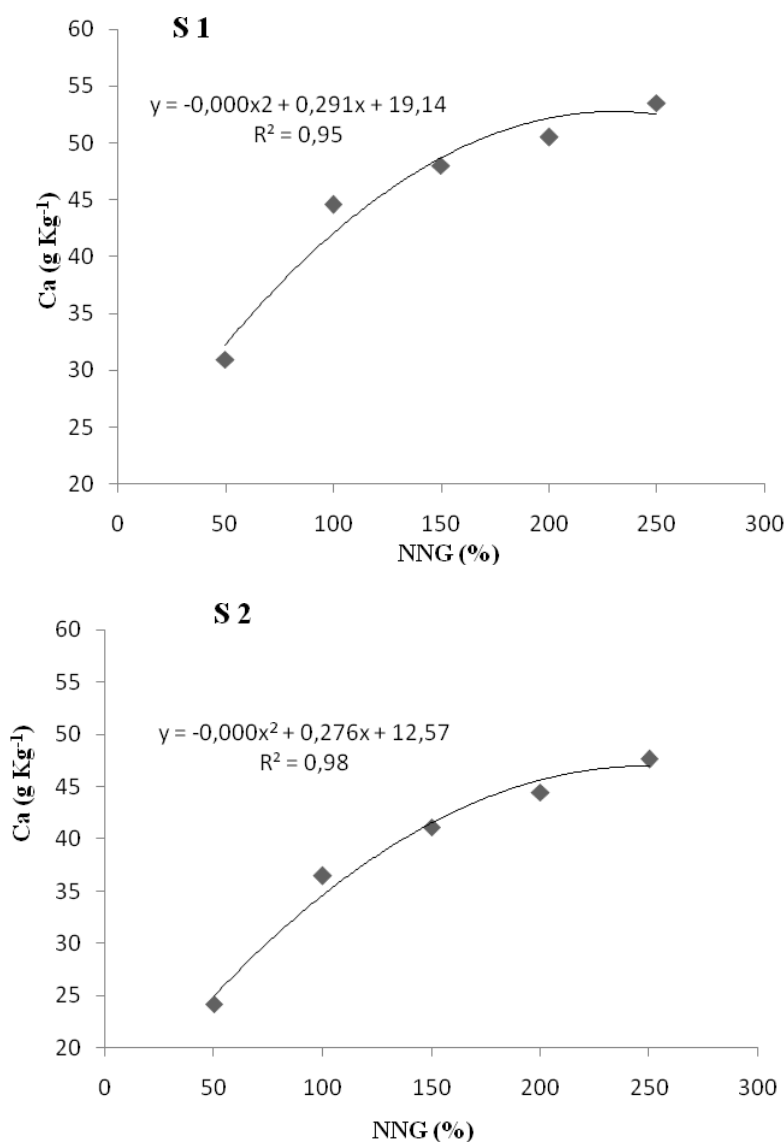
**Tabela 8.** Teores de Cálcio (Ca), Magnésio (Mg), Potássio (K), Fósforo (P) e Sódio (Na) na parte aera do feijão-caupi em função dos níveis da necessidade de gesso (NG) para os solos (S1 e S2)

Solos	NG	Ca	Mg	K	P	Na
	---(%)-	-----( $\text{g} / \text{kg}^{-1}$ ) -----				
<b>S 1</b>	50	30,98	5,32	22,91	3,91	2,50
	100	44,60	5,43	22,82	3,50	2,05
	150	48,03	5,52	22,22	2,24	1,85
	200	50,51	5,70	23,19	2,50	1,72
	250	53,53	5,90	23,11	2,23	1,49
<b>S 2</b>	50	24,20	5,13	22,35	3,72	2,30
	100	36,45	5,19	22,28	3,09	1,86
	150	41,11	5,24	22,42	2,70	1,70
	200	44,48	5,65	22,54	2,29	1,49
	250	47,65	5,82	22,45	1,95	1,26

Os valores obtidos para cálcio indicam que ocorreu um aumento desse elemento na parte aérea e que este foi proporcional aos níveis de gesso aplicados. Os teores de cálcio na parte aérea são distintos dos encontrados por Malavolta et al. (1997). Resultados semelhantes foram encontrados por Sousa et al. (2007) trabalhando em casa de vegetação com feijão de corda cv. Pitiúba irrigados com águas salinas de condutividades elétricas (0,5; 1,5; 3,0 e 4,5  $\text{dS m}^{-1}$ ) obtidos pela associação de sais de cálcio + sódio, com predominância de sódio (Água 1), sais de cálcio + sódio, com predominância de cálcio (Água 2) e sal de sódio (Água 3). Os autores constataram que os teores de cálcio se apresentaram maiores quando a irrigação foi realizada com a água 2 (maior presença de  $\text{CaCl}_2$ ). Dados similares também foram obtidos por Nunes (2008) trabalhando com feijão-caupi, em solos salino-sódicos corrigidos com gesso no município de Sousa-PB. O autor observou um aumento significativo na absorção e

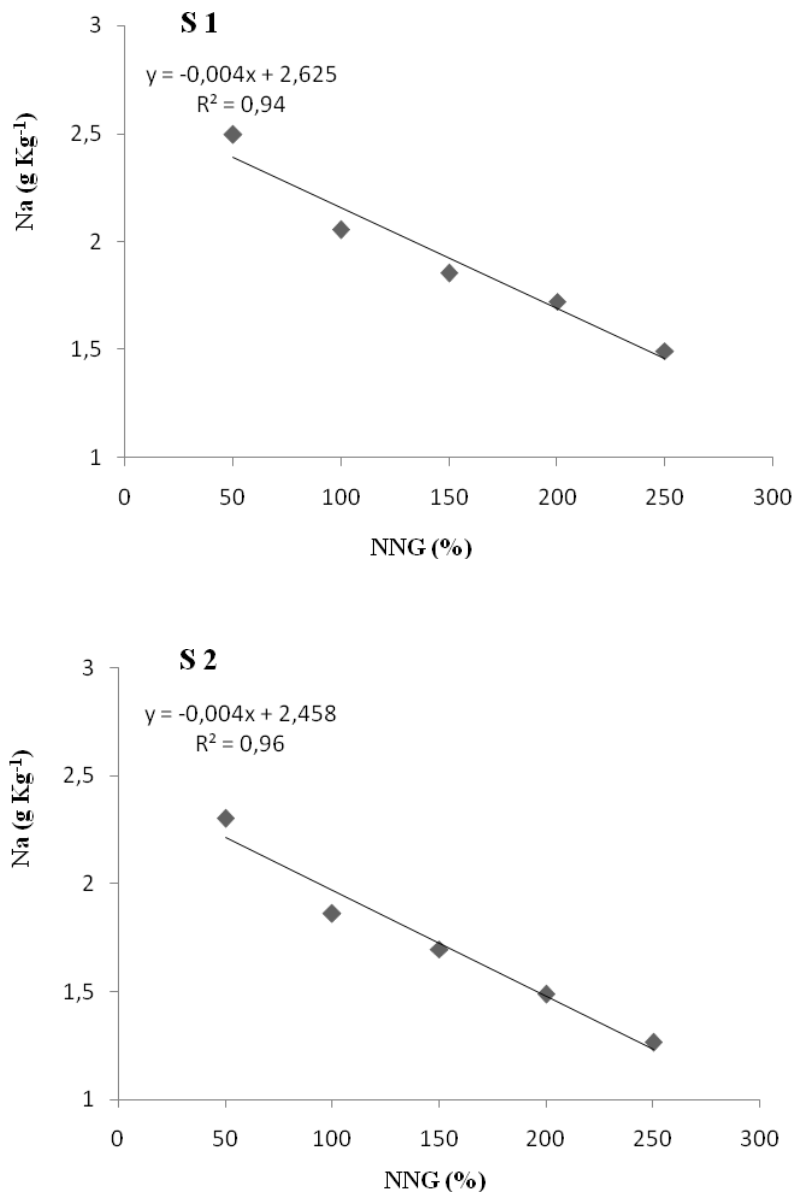
acumulo desde nutriente na parte aérea da planta. A relação entre os níveis da NG e o teor de cálcio na parte aérea apresentou o coeficiente de determinação de  $R^2=0,92^{**}$ .

No presente trabalho esta relação foi testada (Figura 10) e os coeficientes de determinação encontrados foram de  $R^2= 0,95$  e  $R^2= 0,98$  para os solos S1 e S2 respectivamente. O efeito benéfico do cálcio em prevenir a entrada de sódio, ocorre primariamente na plasmalema das células da raiz envolvidas na absorção. Estudos conduzidos por Reid e Smith (2000) assinalam a importância do  $Ca^{2+}$ , em condições salinas, sendo necessária uma condição mínima deste íon para manter a integridade da estruturadas membranas e o correto funcionamento do transporte seletivo dos íons.



**Figura 10.** Relação entre os teores de cálcio (Ca) na parte aérea do feijão-caupi e os níveis de necessidade de gesso (NNG) para os solos (S1 e S2).

Na Figura 11 pode ser observado também, que os valores encontrados para sódio na parte aérea apresentam resultados opostos ao de cálcio, enquanto para cálcio os valores aumentaram com os níveis da NG aplicados, para sódio estes decresceram. Este fato é explicado pela substituição de sódio pelo cálcio advindo do gesso no complexo de troca. Como existe um equilíbrio químico entre a concentração do elemento que se encontra adsorvido e concentração desde na solução do solo, portanto, disponível para absorção vegetal, no nível de 50% da NG a menor substituição de cálcio pelo sódio no complexo sortivo implica em maior concentração de sódio absorvido pelas plantas.



**Figura 11.** Relação entre os teores de sódio (Na) na parte aérea do feijão-caupi e os níveis de necessidade de gesso (NNG) para os solos (S1 e S2).

Resultados similares para os teores de sódio na parte aérea foram encontrados por Barros et al. (2009). Vários estudos têm demonstrado os efeitos do cálcio como redutor dos teores de sódio em feijão (CACHORRO et al., 1994), sorgo (COLMER et al., 1994; LACERDA et al., 2003), arroz (ZHONG e LAÜCHLI, 1994; LIN e KAO, 1995) e em tomate (SATTI et al., 1994). Sousa et al. (2007) trabalhando em casa de vegetação com solução contendo NaCl, verificaram aumento no teor de sódio na parte aérea das plantas de feijão-caupi.

Segundo Assis Junior et al. (2007) em estudos em solos com problema de salinidade tem mostrado que o aumento na concentração de sódio é acompanhado pelo decréscimo na concentração de cálcio em solução, resultado em desequilíbrio iônico que pode afetar o crescimento das plantas.

No presente estudo como pode ser constatado na Figura 11 existe uma relação entre os níveis da NG aplicados e o teor de sódio na parte aérea, e que em comparação aos valores obtidos para cálcio ocorreu o inverso, quanto maior quantidade de gesso aplicado no solo, menor o teor de sódio na parte aérea da planta, tanto para solo S1 como para o solo S2.

Com relação ao magnésio observa-se ainda na Tabela 8, que os teores de magnésio na parte aérea das plantas permaneceram praticamente iguais, independentemente dos níveis da NG aplicado, não sendo possível ajustar equações de regressão. Estes resultados são atribuídos principalmente, devido o gesso ter em sua constituição quantidades mínimas de magnésio.

Ribeiro et al. (2009) relatam que os depósitos de gesso podem apresentar impurezas de carbonatos de cálcio e magnésio, assim como de óxidos de cálcio, magnésio e ferro. Ocorrendo pequena contribuição para aumentar ou modificar a concentração de magnésio em solução para aproveitamento vegetal. Além desse íon ter sido adicionando em pequenas quantidades, não podemos deixar de levar em consideração sua substituição no complexo de troca pelo cálcio do corretivo e sua posterior perda por lixiviação com as lâminas de lixiviação aplicadas durante o processo de correção da salinidade e sodicidade dos solos. A substituição do magnésio pelo cálcio se dá tanto pelo maior raio de hidratação que apresenta magnésio em relação ao cálcio, como pela maior concentração de cálcio em solução, isto implica em maior substituição de magnésio adsorvido pelo cálcio da solução. Os valores obtidos estão de acordo com os encontrados por Miranda et al. (2008) em estudo de casa de vegetação com sorgo irrigado com água contendo concentrações crescentes de  $\text{CaCl}_2$ .



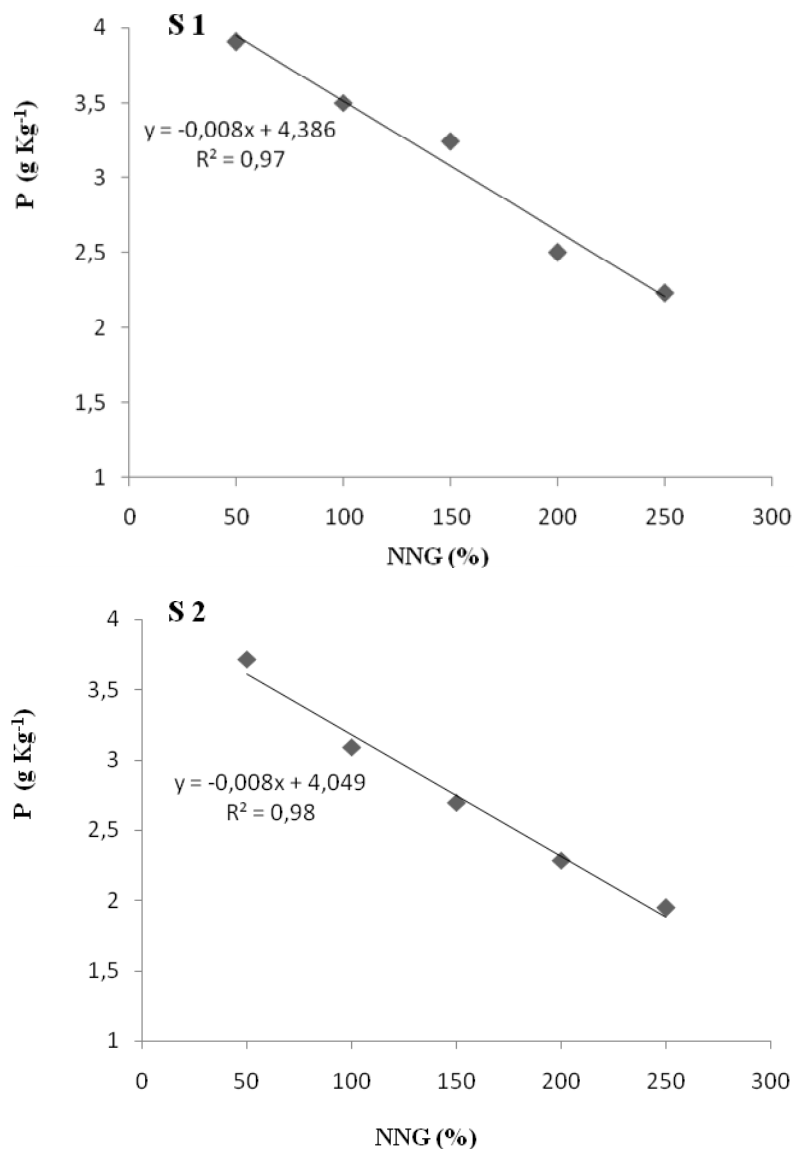
Vale salientar que os teores de magnésio obtidos no presente trabalho encontram-se em níveis adequados para a cultura do feijão-caupi segundo Malavolta et al. (1997).

Os teores de potássio na parte aérea apresentaram valores pouco diferenciados entre os níveis da NG aplicados para a correção da sodicidade dos solos (Tabela 8). Não houve resposta significativa, não sendo possível ajustar nenhuma equação de regressão. Isto é explicado principalmente, porque o gesso não contém potássio em sua constituição. Independentemente dos níveis da NG aplicados, os teores de potássio na parte aérea do feijão-caupi apresentaram médias de  $22,85 \text{ g kg}^{-1}$  e  $22,41 \text{ g kg}^{-1}$  para o solo S1 e solo S2, respectivamente. De acordo com Nunes (2008) em solos degradados por sódio a absorção de potássio pode ser inibida, causando deficiência desse nutriente e aumento no teor de sódio nas células das plantas. A presença do íon sódio pode inibir a absorção de potássio pelas plantas, através do antagonismo entre estes dois íons, bem como, poderá ocorrer liberação do íon potássio quando há substituição do potássio pelo cálcio nas membranas das células.

Costa et al. (2003) concluíram que este antagonismo em sódio e potássio, não tem sido observado nas maiores cultivares do feijão de corda. No presente estudo, os teores de potássio não foram influenciados pelo aumento dos níveis de NG aplicados. Resultados idênticos foram observados por Caires et al. (2003) trabalhando em soja com aplicação de doses de gesso (0,0; 3,0; 6,0; e  $9,0 \text{ t ha}^{-1}$ ). Os autores concluíram que a aplicação de gesso não causou alterações significativas nas concentrações foliares de potássio.

Na Tabela 8 e Figura 12 encontram-se os resultados obtidos para fósforo na parte aérea das plantas e verifica-se que ocorreu um decréscimo nos teores desse elemento, e que esta diminuição nos teores de fósforo ocorreu de forma linear em relação aos níveis de gesso aplicados. Este comportamento foi idêntico para os solos S1 e S2, este fato provavelmente está associado a precipitação desse íon com cálcio formando fosfato de cálcio insolúveis. Vale salientar que a quantidade de gesso aplicada aos solos (S1 e S2), apesar de ocorrer esta precipitação, foi suficiente para manter cálcio em solução para absorção do vegetal. Isto é comprovado pelos resultados obtidos para cálcio na parte aérea das plantas (Tabela 8). Santos et al. (2001) relatam que ocorre a redução na disponibilidade de fósforo em solo salino-sódico depois da aplicação de gesso cultivados com feijão vigna. Resultados semelhantes foram obtidos por Lima et al. (2007) em plantas de feijão-caupi depois da correção de solos salino-sódicos corrigidos com gesso. Grattan e Grieve (1999), concluíram que a interação entre

salinidade e nutrição de fósforo em plantas é bastante complexa e altamente dependente da espécie vegetal ou cultivar, do estágio de desenvolvimento, da composição e concentração de sais e da própria concentração de fósforo no solo.



**Figura 12.** Relação entre os teores de fósforo (P) na parte aérea do feijão-caupi e os níveis de necessidade de gesso (NNG) para os solos (S1 e S2).

## 5. CONCLUSÕES

A aplicação do nível de 100% de necessidade de gesso (NG), obtido pelo método de Schoonover M-1, seguida de lâmina de lixiviação, foi eficaz para correção da sodicidade dos solos (PST < 15%).

A lâmina de lixiviação igual a três volumes de poros (V.P.) corrigiu a salinidade do solo S2, entretanto, não foi suficiente para corrigir a condutividade elétrica para valores menor que  $4,0 \text{ dS m}^{-1}$  para o solo S1, quando foram utilizados os níveis de 150, 200 e 250% da necessidade de gesso.

A aplicação de níveis crescentes da necessidade de gesso do solo resultou em incremento no número e massa seca dos nódulos, altura e teor de nitrogênio absorvido pelas plantas para o solo S2. Para o solo S1 a utilização dos níveis de 200 e 250% da necessidade de gesso ocasionou decréscimo nessas variáveis.

Independentemente dos níveis de gesso aplicados aos solos não ocorreu desbalanceamento catiônico entre  $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$  e  $\text{K}^+$ .

Os níveis de gesso aplicados promoveram uma pequena redução no teor de fósforo na planta, não afetando a produção de massa seca da parte aérea.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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.

ABROL, L.P; DYITYA, I.S&BLUMBLA, D.R.On the method of determining gypsum requirement of soil.Soilscience, Baltimore, 120: 30-36, 1975.

ALMEIDA NETO, O.B.; MATOS, A.T.; ABRAHÃO, W.A.P. Influência da qualidade da água de irrigação na dispersão da argila de Latossolo. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.33, p.1571-1581, 2009.

ANJOS, I. M. dos. Recuperação de um solo salino-sódico: efeito de diferentes níveis e formas de aplicação de gesso. 34f. Dissertação (Mestrado em Manejo e Conservação de Solo) – Universidade Federal da Paraíba, Centro de Ciências Agrárias, Areia, PB.1993.

Agência Pernambucana de Águas e Clima – APAC. Bacias Hidrográficas. Disponível em:<[http://www.apac.pe.gov.br/pagina.php?page\\_id=5&subpage\\_id=18](http://www.apac.pe.gov.br/pagina.php?page_id=5&subpage_id=18)>. Acessado em janeiro de 2013.

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 CuruPentecoste, CE. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.15, p. 377-382, 2011.

ASSIS JÚNIOR, J.O.; LACERDA, C. F. de; SILVA, F. B.; SILVA, F.L. B.; BEZERRA, M. A.; GHEYI, H. R. Produtividade do feijão-de-corda e acúmulo de sais no solo em função da fração de lixiviação e da salinidade da água de irrigação. Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v. 27, n. 3, p. 702-713, 2007

AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. A qualidade da água na agricultura. 2.ed. Campina Grande: UFPB. 153p. FAO, Irrigação e Drenagem, 29. 1999

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 jazidas e calcário no Nordeste do Brasil. Revista brasileira engenharia agrícola e ambiental, v.8, n. 1, p.59-64, 2004.

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

BARROS, M. de F.C.; FONTES, M. P. F.; ALVAREZ, V.; V. H.; RUIZ, H. A. A aplicação de calcário na recuperação de solos salino-sódicos do Estado de Pernambuco. Revista brasileira engenharia agrícola e ambiental, v.9, n3, p.320-326, 2005.

BARROS, M. de F.C.; SANTOS, M. P. F.; TERRAZ, F. B. Avaliação de níveis de gesso para correção de sodicidade de solos. *Revista brasileira engenharia agrícola e ambiental*, Campina Grande, v.1, n.1, p.17-21, 2006.

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

BENVINDO, R. N. et al. Avaliação de genótipos de feijão-caupi de porte semi-prostrado em cultivo de sequeiro e irrigado. *ComunicataScientiae*, v.1, p.23-28, 2010.

BEZERRA NETO, E.; BARRETO, L. P. Análises químicas e bioquímicas em plantas. Recife: UFRPE, Editora Universitária da UFRPE, p 267, 2011.

CACHORRO, P.; ORTIZ, A.; CERDÁ, A. Implications of calcium nutrition on the response of *Phaseolus vulgaris* L. to salinity. *Plant and Soil*, v.159, p.205-212, 1994.

CAIRES, E. F.; FELDILAU, I.C.; BLUM, J. Crescimento radicular nutrição da cevada em função da calagem e aplicação de gesso. *Bragantia*, v.60, p. 213-223, 2001.

CAIRES, E. F.; BLUM, J.; BARTH, G.; GARBUIO, F. J.; KUSMAN, M. T. Alterações químicas do solo e resposta da soja ao calcário e gesso aplicados na implantação do sistema de plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v. 27, n. 2, p. 275-286, 2003.

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.

CAVALCANTE, L. F. Sais e seus problemas nos solos irrigados. Areia: CCA-UFPB. 72p, 2000.

CHAGAS JUNIOR, A. F.; RAHMEIER W., FIDELIS, R. R.; SANTOS; G. R.; CHAGAS, L. F. B. Eficiência agrônômica de estirpes de rizóbio inoculadas em feijão-caupi no Cerrado, Gurupi-TO. *Revista Ciência Agrônômica*, v. 41, n. 4, p. 709-714, 2010.

CHAUHAN, L.R.P.; CHUHAN, C.P.S. A modification to Schoonover`s method of gypsum requirement determination of soil. *Australia Journal of Soil Research*. V. 17: 367-370, 1979.

COELHO, J. B. M., Ponto de murcha permanente fisiológico e solutos orgânicos no feijoeiro-vigna cultivado em solos salinos, 72p. (Tese de Doutorado). Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento de Agronomia, Recife, PE. 2012.

COELHO, B. M.; BARROS, M.F.C.; BEZERRA NETO, E. e CORRÊA, M.M. Comportamento hídrico e crescimento do feijão vigna cultivado em solos salinizados. *Revista Brasileira de engenharia Agrícola e Ambiental*. Campina Grande, v. 17, n. 4, p. 379-385, 2013.

COLMER, T. D.; FAN, T. W. M.; HIGASHI, R. M.; LAUCHLI, A.. Interactions of  $\text{Ca}^{2+}$  and NaCl stress on the ion relations and intracellular pH of Sorghum bicolor root tips: an in vivo P-31-NMR study. J. Exp.Bot., v.45, p.1037-1044, 1994.

COSTA, P.H.A.; SILVA, J.V.; BEZERRA, M.A.; ENÉAS FILHO, J.; PRISCO, J.T.; GOMES FILHO, E. Crescimento e níveis de solutos orgânicos e inorgânicos em cultivares de Vigna unguiculata submetidos à salinidade. Revista Brasileira de Botânica, v.26, n.3, p.289-297, 2003.

DANTAS, J.P., MARINHO, F.J.L., FERREIRA, M.M.M., AMORIMS, M. do S.N., ANDRADE, S.I. de O. & SALES, A.L. de; Avaliação de genótipos de caupi sob salinidade, Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.6, n.3, p. 425-430, 2002.

EHLERS, J. D.; HALL, A. E. Cowpea (Vigna unguiculata L. Walp). Field Crops Research, n.53, p.187-204, 1997.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. SNLCS. Manual de métodos de análise de solo. 2ª Ed. Rio de Janeiro, p. 211. 1997.

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

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.

GHEYI, H.R. Problemas de salinidade na agricultura irrigada. In: Oliveira, T.S. de; Assis Jr, R.N.; Romero, R.E.; Silva, J.R.C. (org.). Agricultura, sustentabilidade e o semi-árido. Viçosa: Folha de Viçosa/2000. v. 1 p. 329-346.

GRATTAN, S. R.; GRIVE, C. M. Salinity-mineral relations in horticultural crops. Scientia Horticulturar, v. 78, p. 127-157, 1999.

HUNGRIA, M.; CAMPO, R.J.; MENDES, I.C. 2007. A importância do processo de fixação biológica do nitrogênio para a cultura da soja: componente essencial para a competitividade do produto brasileiro. Londrina: EmbrapaSoja, 80p. (EmbrapaSoja.Documentos, 283), 2007.

HUNSSAIN, N.; KAKA, M.A.; TAHIR, M.; ULLAH, M.A.; SAEED, Z. Growth Response of Barley to Calcium under Saline Conditions; Sakistan Journal of Agronomy 1 (1-2): 77-79; 2002.

LACERDA, C.F.; CABRAIA, J.; CANO, A.O.; RUIZ, H.A.; PRISCO, J.T. Solute accumulation and distribution during shoot and leaf development in two sorghum genotypes under salt stress. Environmental and Experimental Botany, v.49, p.107-120, 2003.

LEITE, E. M.; DINIZ, A. A.; CAVALCANTE, L. F.; GHEY, H. R.; CAMPOS, V. B.

Redução da sodicidade em solo irrigado com a utilização de ácido sulfúrico e gesso agrícola. *Revista Caatinga*, Mossoró- RN, vol. 23, núm. 2, pp. 110-116, abril/junho, 2010.

LIMA, C. J. G. S.; OLIVEIRA, F. A.; MEDEIROS J. F.; OLIVEIRA M. K. T.; ALMEIDA JÚNIOR, A. B.; Resposta do Feijão Caupi a Salinidade da Água de Irrigação. *Revista verde de agroecologia e desenvolvimento sustentável*. Mossoró, RN. v.2, n.2, p. 79–86 Julho/Dezembro de 2007.

LIN, C. C.; KAO, C. H. NaCl stress in rice seedlings - The influence of calcium on root growth. *Botanical Bulletin of Academia Sinica*, v.36, p.41-45, 1995.

LLYAS, M., QURESHI, R.H.; QUADIR, M.A., Chemical changes in a saline-sódico soil after gypsum application and cropping; *Soil Technology*. p. 247-260. 1997.

MACCIÓ, DL.; FABRA, A.; CASTRO, S. Acidity and calcium interaction affect the growth of *Bradyrhizobium* sp. And the attachment to peanut roots. *Soil Biology and biochemistry*, Elmsford v. 34, p.201-208, 2002.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A.; Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações.2 ed. Piracicaba: Potafos, 319 p, 1997.

MEDEIROS, D.C.; NETO, R.C.A.; FIGUEIRA, L.K.; NERY, D.K.P., MARACUJÁ, P.B.; pó de folhas Secas e Verdes de Nim no Controle do Caruncho em Sementes de Caupi, *Revista Caatinga*, v.20, n.2, p.94-99, 2007.

MELO R. M.; BARROS, M. de F. C.; SANTOS P. M., ROLIM, M. M. Correção de solos salino-sódicos pela aplicação de gesso mineral1. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.12, n.4, p. 376–380, 2008.

MELO, S.R.; ZILLI, J.E. Fixação biológica de nitrogênio em cultivares de feijão-caupi recomendadas para o estado de Roraima. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, a, v.44, n.9, p.1177-1183, 2009.

MIRANDA, M.F.A.; PESSOA, L.G.M.; FREIRE, M.B.G.S. e FREIRE, F.J. Correção de Solo Salino-Sódico com Soluções de Cloreto de Cálcio Cultivado Com Sorgo Sudanense. *Revista Caatinga*, v.21, n.5, p. 18-25, 2008

MONTENEGRO, A.A.A.; MONTENEGRO, S.M.G. Aproveitamento Sustentável de Aquíferos Aluviais no Semi – Árido. IN: CABRAL, J.S.P.; FERREIRA, J.P.C.L.; MONTENEGRO,S.M.G.L.; COSTA,W.D. Água Subterrânea: Aquíferos Costeiros e Aluviões, Vulnerabilidade e Aproveitamento. Tópicos especiais em Recursos Hídricos v. 4. Recife: ed. Universitária da UFPE, 2004.

MÜHLING, K.H.; LÄUCHLI, A. Effect of salt stress on growth and cation compartmentation in leaves of two plant species differing in salt tolerance. *Journal of Plant physiology*. 159 (2): 137-146, 2002.

MUNNS, R. Comparative physiology of salt and water stress. *Plant, Cell and Environment*, n.25, p.239-250, 2002.

NOLLA, A. Correção de acidez do solo com salinidade. In: SIMPÓSIO SOBRE SILÍCIO NA AGRICULTURA. Uberlândia, 2004. CD-ROM.

NUNES, E. M. Efeito do gesso, fósforo e adubo verde na absorção de nutrientes pelo feijoeiro (*vigna unguiculata* (L.) Walp.) Cultivado em solo salino-sódico. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) Universidade Federal de Campina Grande- UFCG, PATOS – PB, 2008.

OLIVEIRA, L. B.; ROSAS, R. M.; FERREIRA, M. DA G. DE V. X.; LIMA, J. F. W. F. DE; MARQUES, F. A. Interferência pedológicas aplicadas ao perímetro irrigado de Custódia, PE. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 37, n. 10, p. 1477-1486, 2002.

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, Cambridge, v. 21, n. 2, p. 173-180, 2005.

REID, R. J.; SMITH, A. The limits of sodium/calcium interactions in plant growth. Australian Journal of Plant Physiology, v. 27, p. 709-715, 2000.

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

RIBEIRO, M. R.; Freire, F. J.; Montenegro, A. A. A. Solos halomórficos no Brasil: ocorrência, gênese, classificação, uso e manejo sustentável. In: Curi, N; Marques, J. J.; Guilherme, L. R. G.; Lima, J. M.; Lopes, A. S.; Alvarez, V. H. (Eds) Tópicos em Ciência do Solo. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v. 3, p. 165-208. 2003.

RIBEIRO, M. R.; BARROS, M. F. C.; FREIRE, M. B. G. S. Química dos solos salinos e sódicos. In: MELO, V. F.; ALLEONI, L. R. F. (Ed.). Química e mineralogia do solo, 1. ed. Viçosa, MG: SBCS, 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: Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Salinidade, 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., p. 172. 1954.

RHOADES, D. J. Drainage for salinity control. In: Schinfgaarde, J. Van. Ed. Drainage for agriculture. Madison, Wisconsin: American Society of Agronomy. p. 433-460. (Agronomy, 17), 1974.



RHOADES, J. D. CLARK, M. Sampling procedure and Chemical methods in use at, the U. S. Salinity Laboratory for characterizing salt-affected soil and waters. U. S. Salinity Laboratory, Riverside, California, p. 24, 1978.

RHOADES, J. D.; KANDIAH, A.; MASHALI, A. M. Uso de águas salinas para produção agrícola. Tradução de Gheyi, H. R.; Sousa, J. R.; Queiroz, J. E. Campina Grande: UFPB, p.117, 1992.

ROCHA, M. de M.; CARVALHO, K.J.M. de; FREIRE FILHO, F.R.; LOPES, A.C. de A.; GOMES, R.L.F.; SOUSA, I. da S. Controle genético do comprimento do pedúnculo em feijão-caupi. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.44, p.270-275, 2009.

RUMJANEK, N.G.; MARTINS, L.M.V.; XAVIER, G.R.; NEVES, M.C.P. A Fixação biológica de nitrogênio. In: FREIRE FILHO, F.R.; LIMA, J.A.A.; RIBEIRO, V.Q. (Ed.). Feijão-caupi: avanços tecnológicos. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica; Teresina: Embrapa Meio-Norte, p.280-335, 2005.

SAMPAIO, R. A.; RUIZ, H. A. Características das soluções drenadas na recuperação de solos salino-sódicos com lixiviações parceladas. Revista Brasileira do Solo, Campinas, v.20, n.1, p. 13-20, 1996.

SANTANA, M. J.; SILVEIRA, A. L.; VIEIRA, T. A. Produção do feijoeiro irrigado com diferentes concentrações de água salina. Global Science and Technology, v.2, p.45-54, 2009.

SANTOS, R. V. Correção de um solo Salino-sódico e absorção de nutrientes pelo feijoeiro vigna (*vignaunguiculata* (L) Wap). Tese de Doutorado, Solos e Nutrição de Plantas, USP, Piracicaba. p.120, 1995.

SANTOS, P. S.; BARROS, M.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 - PE, Resumos... Recife, 2005. CDROM.

SANTOS, R. V.; MURAOKA, T.; SOUTO, J. S.; RANGEL, A. L.; VITAL, A. F. M. Solo degradado do nordeste brasileiro: correção e absorção de nutrientes por leguminosas. In: Anais... XV Congresso Latino Americano da Ciência do Solo, Varadero. Anais... Varadero: Sociedade Latino Americana da Ciência do Solo, 2001.

SATTI, S. M. E.; IBRAHIM, A. A.; ALKINDI, S. M. Enhancement of salinity tolerance in tomato - implications of potassium and calcium in flowering and yield. Communications in Soil Science and Plant Analysis, v.25, p. 2825-2840, 1994.

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. ScientiaAgrícola, Piracicaba, v. 65, n.1, p. 69-76, 2008.

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

SILVA, F. E. O.; MARACAJÁ, P. B.; MEDEIROS, J. F.; OLIVEIRA, F. A.; OLIVEIRA, M. K. T. Desenvolvimento vegetativo de feijão caupi irrigado com água salina em casa de vegetação. *Revista Caatinga*, v.22, p.156-159, 2009.

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. *ScientiaAgrícola*, Piracicaba, v. 65, n.1, pag. 69-76, 2008.

SMITH, A. P.; CHEN, D.; CHALK, P. M. N<sub>2</sub> 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.

SOUSA, R.A.; LACERDA, C.F.; AMARO FILHO, J.; HERNANDEZ, F.F.F. Crescimento e nutrição mineral do feijão-de-corda em função da salinidade e da composição iônica da água de irrigação. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*. Recife, v.2, n.1, p.75-82, 2007

SUMNER, M. E. Sodic soil: new perspectives. In: NAIDU, R.; SUMNER, M. E.; REGASAMY, P. *Australian sodic soils: distribution, properties and management*. Victoria, CSIRO. p. 1-34, 1995.

STRALIOTTO, R.; RUMJANEK, N. G. Aplicação e evolução dos métodos moleculares para estudo da biodiversidade do rizóbio. Embrapa. Doc. 93. 1999.

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. *Revista brasileira de engenharia agrícola e ambiental*. v.16, n.3, 2012.

TEIXEIRA, I. R.; MOTA, J. H.; MARINHO, J. T. S.; CARVALHO, J. G.; ANDRADE, M. J. B. Efeito da salinidade sobre a produção de matéria seca na cultivar de feijão-pérola. In: *Reunião brasileira de manejo e conservação do solo e da água*, 12, Fortaleza. Anais... Fortaleza: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p.412, 1998.

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

VALENZUELA, H.; SMITH, J. Cowpea. Cooperative Extension Service. College of Tropical Agriculture and Human Resource, p.4, 2002.

WENDLAND, S. B.; PORTILHO, I. I. R.; PIEREZAN, L.; MERCANTE, F. M. Avaliação da nodulação e eficiência simbiótica em feijão-caupi inoculado com rizóbios nativos de Mato Grosso do Sul. Resumos do III Seminário de Agroecologia de MS. *Cadernos de Agroecologia*, v.5, n.1, 2010.

ZILLI, J.É.; BOTELHO, G.R.; NEVES, M.C.P.; RUMJANEK, N.G. Efeito de glyphosate e imazaquin na comunidade bacteriana do rizoplano de soja (*Glycine Max*(L.) Merrill) e em características microbiológicas do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.32, p.633-642, 2008.

ZILLI, J.E.; MARSON, L. C.; XAVIER, G.R. E RUMJANEK, N.G. Recomendação da Estirpe BR 3267 (=Semia 6462) para a Inoculação de Sementes de Feijão-Caupi em Roraima. (Comunicado Técnico, 04) 2007

ZHONG, H. L.; LAUCHLI, A. Spatial distribution of solutes, K, Na, Ca and their deposition rates in the growth zone of primary cotton roots: Effects of NaCl and CaCl<sub>2</sub>. *Planta*, v.194, p.34-41, 1994.