



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

CARLOS HENRIQUE CARVALHO DE SOUSA

**USO INTEGRADO DE PRÁTICAS DE MANEJO NA RECUPERAÇÃO DE UM
SOLO SALINO-SÓDICO CULTIVADO COM COQUEIRO**

FORTALEZA - CEARÁ

2012

CARLOS HENRIQUE CARVALHO DE SOUSA

**USO INTEGRADO DE PRÁTICAS DE MANEJO NA RECUPERAÇÃO DE UM
SOLO SALINO-SÓDICO CULTIVADO COM COQUEIRO**

Tese apresentada ao Curso de Doutorado em Engenharia Agrícola do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Ceará, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Engenharia Agrícola. Área de concentração: Irrigação e Drenagem

Orientador: Prof. Dr. Claudivan Feitosa de Lacerda

FORTALEZA

2012

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca de Ciências e Tecnologia

-
- S696u Sousa, Carlos Henrique Carvalho de.
 Uso integrado de práticas de manejo na recuperação de um solo salino-sódico cultivado com coqueiro / Carlos Henrique Carvalho de Sousa. – 2012.
 124 f. : il. color., enc. ; 30 cm.
- Tese (doutorado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Departamento de Engenharia Agrícola, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Fortaleza, 2012.
 Área de Concentração: Irrigação e Drenagem.
 Orientação: Prof. Claudivan Feitosa de Lacerda.
1. Salinização. 2. Áreas degradadas - recuperação. 3. Produtividade. 4. Viabilidade econômica.
 5. *Cocos nucifera*. I. Título.

CARLOS HENRIQUE CARVALHO DE SOUSA

**USO INTEGRADO DE PRÁTICAS DE MANEJO NA RECUPERAÇÃO DE UM
SOLO SALINO-SÓDICO CULTIVADO COM COQUEIRO**

Tese apresentada ao Curso de Doutorado em Engenharia Agrícola do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Ceará, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Engenharia Agrícola. Área de concentração: Irrigação e Drenagem

Aprovada em: 29/10/2012

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Claudivan Feitosa de Lacerda (Orientador)

Universidade Federal do Ceará – UFC

Prof. Dr. Raimundo Nonato Távora Costa (Examinador)

Universidade Federal do Ceará – UFC

Prof. Dr. Hans Raj Gheyi (Examinador)

Universidade Federal de Campina Grande – UFCG

Prof. Dr. Fernando Felipe Ferreyra Hernandez (Examinador)– UFC

Universidade Federal do Ceará – UFC

Dr. Sílvio Carlos Ribeiro Vieira Lima (Examinador)

Instituto de Pesquisa e Inovação na Agricultura Irrigada - INOVAGRI

OFEREÇO

De maneira muito especial aos meus pais José Gerardo Ferreira de Sousa e Antonia Carvalho de Sousa, pelo amor, carinho, atenção, dedicação, orações e por tudo que me ensinaram e proporcionaram para que eu pudesse chegar até aqui.

Aos meus irmãos Fábio, Fabíola, Júnior e Ronaldo pelo apoio e incentivo a mim oferecidos.

À minha esposa Denise por todo o amor, incentivo, paciência e dedicação em todos os momentos.

Ao meu Filho Samuel, que ainda tão pequeno é o responsável por proporcionar as minhas maiores alegrias.

DEDICO

*SEJA FELIZ, mesmo que faça calor,
mesmo que esteja doente, mesmo que não
tenha dinheiro, mesmo que alguém o(a)
tenha machucado, magoado, mesmo que
alguém não o(a) ame ou não lhe dê o devido
valor.*

Madre Teresa de Calcutá

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a **DEUS** por todas as graças que tem me concedido.

Aos meus pais, José Gerardo Ferreira de Sousa e Antonia Carvalho de Sousa pelo amor, carinho, companheirismo e confiança a mim dedicados e por todos os momentos alegres proporcionados.

A minha esposa Denise de Castro Feijó Sousa, companheira e amiga, pelo amor, compreensão, respeito, incentivo e dedicação a mim dispensados durante todos os momentos.

Ao meu filho Samuel Feijó de Sousa, que além de tudo que ele representa para mim, foi o que mais me confortou nos momentos mais difíceis.

Aos meus irmãos Fábio, Fabíola, Júnior e Ronaldo pelo apoio e incentivo.

Ao Professor Claudivan Feitosa de Lacerda, exemplo de profissional dedicado, pela orientação, amizade, compreensão e a mim oferecida durante todo o curso.

Ao Prof. Dr. Raimundo Nonato Távora Costa pela amizade, orientações, incentivo e pela participação nas bancas de qualificação e de tese.

Ao Prof. Dr. Hans Raj Gheyi, pela participação na banca examinadora e pelas sugestões apresentadas durante toda a pesquisa.

Ao Prof. Dr. Fernando Hernandez pela participação nas bancas de qualificação e de tese, enriquecendo o trabalho e pelo apoio nas análises.

Ao Prof. Dr. Silvio Carlos Ribeiro Vieira Lima pela participação na banca e pelas contribuições oferecidas desde quando foi meu primeiro orientador, ainda na graduação.

Ao Professor Francisco Marcus Lima Bezerra, pela grande contribuição na banca de qualificação.

À Antônia Leila Rocha Neves, grande amiga e companheira, que com muita dedicação e profissionalismo esteve sempre pronta para ajudar.

Ao Francisco Leandro Barbosa da Silva, pela amizade e ajuda durante toda a realização do experimento.

Aos amigos, Ana Célia Maia Meireles, Luiz Carlos Guerreiro Chaves, Marcos Meireles pela amizade e incentivo.

Ao José Jarde Guimarães Matos e família, por ter cedido à área para a realização do trabalho, pela amizade, hospitalidade além de toda ajuda oferecida durante o experimento.

À família de minha esposa, em especial, a minha sogra Natalisa Maria Castro Feijó pelo incentivo e respeito a mim dispensados durante todos os momentos.

Aos funcionários da Fazenda Experimental do Vale do Curu – UFC, pelo apoio.

Aos Professores do Curso de Pós-graduação em Irrigação e Drenagem, Adunias dos Santos, Benito Moreira, Marcus Bezerra, Fábio Miranda, Raimundo Nonato Távora Costa, Renato Silvio, Thales Vinícius Viana, Luis Camboim, pela amizade e os ensinamentos transmitidos;

Aos colegas e amigos do Departamento de Engenharia Agrícola: Adriano, Aglodoaldo, Alan Diniz, Alexandre Costa, Alexandre Reuber, Amauri, Ana Paula, Beatriz Marques de Sousa, Breno, Bruna Macêdo, Cristina, Danielle, Deodato Aquino, Edineide, Eveline, Fabrício, Fernando Bezerra, Geocleber, Hernandes, Jardelson, João Valdenor, Júlio César, Khrisna, Leandro, Leila Neves, Limeira, Luciano, Luiz Carlos Guerreiro, Mailson, Mário, Michele Bessa, Sildemberny pelo convívio durante o curso;

Aos funcionários do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Ceará: Dr. Almiro Tavares, Antônia Farias, Ivan Martins, Maurício Rodrigues, Manoel Jacó, Luiza Marillac, Maria Fátima, Willa de Sousa e Ana Maria (Aninha);

A Universidade Federal do Ceará através do Departamento de Engenharia Agrícola, pela oportunidade oferecida à realização do curso;

Ao (CNPq) agradeço pelo financiamento desta pesquisa. Ao INCTSal pelo apoio financeiro. A FUNCAP pela concessão da bolsa de estudos.

E a todos que de alguma forma contribuíram para a realização do trabalho.

RESUMO GERAL

SOUSA, C. H. C. **Uso integrado de práticas de manejo na recuperação de um solo salino-sódico cultivado com coqueiro.** Orientador: Claudivan Feitosa de Lacerda. Fortaleza: UFC. 124f. (Tese). 2012.

Os solos afetados por sais são conhecidos há muito tempo, no entanto, sua extensão e intensidade têm aumentado consideravelmente, resultando na expansão da área degradada por salinidade e sodicidade. Assim, práticas de manejo adequadas para controlar a salinidade dos solos tornam-se fundamentais principalmente visando à sustentabilidade, além de constituírem alternativas de uso e recuperação do solo. Portanto, o objetivo deste trabalho foi avaliar o uso integrado de práticas de manejo na recuperação de um solo salino-sódico no Perímetro Irrigado Curu-Pentecoste, Ceará, e em seguida proceder uma análise de viabilidade econômica, utilizando indicadores de rentabilidade do processo de recuperação. O estudo foi desenvolvido em uma área cultivada com coqueiro com cerca de 2 anos de idade e que se encontrava com desenvolvimento bastante reduzido. Inicialmente foi instalado um sistema de drenagem subterrâneo constituído de um dreno coletor aberto de 135 m, dez drenos laterais de 45 m, compostos por tubos drenoflex DN 65 mm, manta bidim OP-20 e uma caixa de brita nº 01. O experimento com culturas anuais foi instalado entre as fileiras de coqueiro, com os tratamentos sendo dispostos em um delineamento em blocos casualizados, em parcelas subdivididas, com quatro repetições, durante dois ciclos (2009/2010 e 2010/2011). As parcelas foram formadas pelos tratamentos: T1. Subsolagem (S); T2. S + 20 Mg ha⁻¹ de gesso; T3. S + 40 Mg ha⁻¹ de matéria orgânica; T4. S + 10 Mg ha⁻¹ de gesso + 20 Mg ha⁻¹ de matéria orgânica; T5. S + 20 Mg ha⁻¹ de gesso + 40 Mg ha⁻¹ de matéria orgânica, e as subparcelas corresponderam às rotações culturais algodão-feijão-de-corda (AL/FC) e girassol-feijão-de-corda (GI/FC). A utilização da subsolagem juntamente com a instalação do sistema de drenagem subterrâneo proporcionou um rebaixamento médio do lençol freático de 0,3 m e promoveu melhorias nas condições físicas do solo aumentando a condutividade hidráulica. A produção do coqueiro desde a primeira colheita realizada apresentou evolução crescente passando de 33,3 fruto/planta/ano em 2010/2011 para 152,4 frutos/planta/ ano em 2011/2012. Os resultados demonstram que o emprego dos corretivos químicos e orgânicos contribuiu para a diminuição dos níveis de salinidade e sodicidade do solo, sendo seus efeitos mais evidenciados para redução da sodicidade, com o gesso se mostrando mais eficiente nesse processo. As maiores doses de gesso e matéria orgânica aplicadas no tratamento T5 promoveram a maior produtividade do girassol e do feijão-de-corda. Não se observou diferenças na produção de matéria seca da parte aérea entre as espécies nos dois anos de cultivo; no entanto, no ciclo 2010/2011 observou-se um aumento médio de 114% (algodão) e 89% (girassol) na produção de matéria seca, em relação ao ciclo 2009/2010, sendo um indicativo da recuperação progressiva do solo. Observaram diferenças estatísticas nas medições de condutância estomática e das taxas de fotossíntese e de transpiração apenas entre épocas de medições. Os teores foliares de Na⁺ nas plantas de girassol e algodão foram reduzidos de um cultivo para outro, principalmente nos tratamentos com aplicação de gesso. O processo de recuperação apresentou viabilidade econômica à taxa de juros de 2% ao ano, conforme características do agricultor familiar assistido pelo PRONAF. No entanto, o resultado só foi possível com a contribuição da produção do coqueiro, haja vista que produção do algodão, girassol e feijão-de-corda não foram suficientes para amortizar os investimentos.

Palavras-chave: Salinização. Recuperação de áreas degradadas. Produtividade. Viabilidade econômica. *Gossypium hirsutum*. *Helianthus Annuus*. *Vigna unguiculata*. *Cocos nucifera*.

GENERAL ABSTRACT

SOUSA, C. H. C. **Integrated use of management practices in the reclamation of a saline-sodic soil cultivated with coconut.** Advisor: Claudivan Feitosa de Lacerda. Fortaleza: UFC. 124f. (Thesis). 2012.

The salt affected soils are known for a long time, however, the scale and intensity have increased considerably, resulting in the expansion of the area degraded by salinity and sodicity. Thus, appropriate management practices to control soil salinity become fundamental mainly aimed at sustainability, as well as being alternative uses and land reclamation. Therefore, the objective of this study was to evaluate the integrated use of management practices in the reclamation of a saline-sodic soil in the irrigated Perimeter Curu-Pentecoste, Ceará, and then carried out an economic viability analysis, using profitability indicators of process of reclamation. The study was conducted in an area cultivated with coconut with 2 years old, with the plants showing delayed development. Initially it was installed a subsurface drainage system consisting of an open drain collector of 135 m, ten side drains of 45 m, composed of pipes Drenoflex DN 65 mm, manta bidim OP-20 and a box of gravel No. 01. The experiment was installed with annual crops between rows of coconut, with treatments being arranged in a randomized block design in a split plot design with four replications during two cycles (2009/2010 and 2010/2011). The plots were formed by the treatments: T1. Subsoiling (S), T2. S + 20 Mg ha⁻¹ gypsum, T3. S + 40 Mg ha⁻¹ of organic matter; T4. S + 10 Mg ha⁻¹ gypsum + 20 Mg ha⁻¹ of organic matter; T5. S + 20 Mg ha⁻¹ gypsum + 40 Mg ha⁻¹ of organic matter. The subplots correspond to two crop rotation systems: cotton-cowpea (AL / FC) and sunflower-cowpea (GI / FC). The use of subsoiling along with the installation of subsurface drainage system provided an average drawdown of the water table of 0.3 m promoted improvements in soil physical conditions by increasing the hydraulic conductivity. The production of coconut from the first sample taken showed increasing trend from 33.3 fruit / plant / year in 2010/2011 to 152.4 fruits / plant / year in 2011/2012. The results demonstrate that the use of gypsum and organic matter contributed to the decreased levels of salinity and sodicity, and their effects are more evident for reducing sodicity, with gypsum proving more efficient in this process. The highest rates of gypsum and organic matter applied in the treatment T5 promoted greater productivity for sunflower and cowpea. There were no differences in the shoots dry matter of the species within two years of cultivation, however, in the cycle 2010/2011 there was an average increase of 114% (cotton) and 89% (sunflower) relative to 2009/2010 cycle, being an indicative of the progressive recovery of the soil. Statistically significant difference in stomatal conductance, photosynthesis and transpiration were observed only between seasons. Foliar concentrations of Na⁺ in plants of sunflower and cotton crops were reduced in the second cycle, relative to the first one, especially in the treatments with application of gypsum. The reclamation process showed economic viability at the rate of 2% per year, according to the characteristics of the family farmer assisted by PRONAF. However, the result was only possible with the contribution of coconut production, considering that the production cotton, sunflower and cowpea were not enough to cover the investment.

Keywords: Salinization. Reclamation of degraded areas. Produtividade. Economic viability. *Gossipium hirsutum*. *Helianthus Annuus*. *Vigna unguiculata*. *Cocos nucífera*.

LISTA DE FIGURAS

CAPITULO 2

Figura 2.1 - Imagem por satélite da área experimental. Pentecoste – CE, 2009.....	38
Figura 2.2 - Realização da gradagem e subsolagem na área	39
Figura 2.3 - Abertura do dreno coletor	40
Figura 2.4 - Vista de uma das valas para a instalação dos drenos subterrâneos	41
Figura 2.5 - Tubo drenoflex envolto com manta bidim OP 20, caixa de brita servindo como envelope do tubo de drenagem.....	41
Figura 2.6 - Trator realizando o movimento de terra na sistematização	42
Figura 2.7 - Sulcamento e sistema de drenagem sendo testado	42
Figura 2.8 - Detalhe do poço de observação instalado.....	43
Figura 2.9 - Medição da circunferência do colete e alturas de planta	44
Figura 2.10 - Lençol freático observado em poços de observação para um intervalo de irrigação antes e após a instalação do sistema de drenagem	45
Figura 2.11 - Plantas de coqueiro um mês, nove meses e vinte e um meses após a instalação do sistema de drenagem subterrâneo.....	48
Figura 2.12 - Plantas de coqueiro em época de colheita após a instalação do sistema de drenagem	49
Figura 2.13 - Produção mensal do coqueiro. Pentecoste – CE, 2010 - 2012.	49
Figura 2.14 - Produção anual do coqueiro. Pentecoste – CE, 2010 - 2012.....	50

CAPITULO 3

Figura 3.1 - Distribuição de gesso, esterco, gesso e esterco nos tratamentos T2, T3 e T4 respectivamente e incorporação ao solo.....	60
Figura 3.2 - Girassol tratamento T4 aos 60 e algodão tratamento T3 aos 105 dias após o plantio.....	61
Figura 3.3 - Momento das coletas no campo para determinação da produtividade do girassol tratamento T1 e algodão tratamento T3.....	62
Figura 3.4 - Feijão-de-corda tratamento T3 aos 15 e 60 dias após o plantio	63
Figura 3.5 - Coleta de amostras de solo após os cultivos de algodão e girassol em julho de 2010.....	64

CAPÍTULO 4

Figura 4.1 - Distribuição de gesso, esterco, gesso e esterco nos tratamentos T2, T3 e T4 respectivamente e incorporação ao solo.....	83
Figura 4.2 - Girassol tratamento T4 aos 60 e algodão tratamento T3 aos 105 dias após o plantio	84
Figura 4.3 - Medições das trocas gasosas foliares de algodão, utilizando-se um IRGA modelo LI 6400	85
Figura 4.4 - Momento das coletas no campo para determinação da produtividade do girassol tratamento T1 e algodão tratamento T3.....	86
Figura 4.5 - Feijão-de-corda tratamento T3 aos 15 e 60 dias após o plantio	87
Figura 4.6 - Produção de matéria seca vegetativa de plantas de algodão e girassol em 2010 e em 2011	89
Figura 4.7 - Médias de condutância estomática, fotossíntese e transpiração em plantas de algodão e girassol nas três épocas de medição.....	91
Figura 4.8 - Teores foliares médios de Na ⁺ , K ⁺ e Ca ²⁺ em plantas de algodão e girassol em função da época de coleta (2010).....	95
Figura 4.9 - Teores foliares médios de Na ⁺ , K ⁺ e Ca ²⁺ em plantas de algodão e girassol em função da época de coleta (2011).....	96

LISTA DE TABELAS

CAPITULO 2

Tabela 2.1 - Valores médios da circunferência do coleto (CC); altura da planta (AP) e comprimento da terceira folha (CF3) de plantas de coqueiro anão verde um, nove e vinte e um meses após a instalação do sistema de drenagem.....	47
---	----

CAPITULO 3

Tabela 3.1 - Atributos físico-químicos e hídricos do solo antes da instalação do experimento na profundidade de 0 a 30 cm.....	58
Tabela 3.2 - Atributos da água do canal utilizada durante o experimento	61
Tabela 3.3 - Valores médios de condutividade elétrica no extrato 1:1 (CE _{1:1}), percentagem do sódio trocável (PST) e teores de cálcio (Ca ²⁺) na camada de 0 a 30 cm, sob diferentes tratamentos de recuperação e sistemas de rotação cultural algodão/feijão-de-corda (AL/FC) e girassol/feijão-de-corda (GI/FC)	66
Tabela 3.4 - Concentrações de Na ⁺ , K ⁺ e Ca ²⁺ na água dos drenos sob diferentes tratamentos de recuperação	69
Tabela 3.5 - Produtividade de sementes de algodão, girassol e feijão-de-corda sob diferentes tratamentos de recuperação e sistemas de rotação cultural, durante dois ciclos de produção	71

CAPITULO 4

Tabela 4.1 - Atributos físico-químicos e hídricos do solo antes da instalação do experimento na profundidade de 0 a 30 cm	81
Tabela 4.2 - Atributos da água do canal utilizada durante o experimento	84
Tabela 4.3 - Resumo da análise de variância da produção de matéria seca vegetativa de plantas de algodão e girassol nos anos de 2010 e 2011	88
Tabela 4.4 - Resumo da análise de variância para condutância estomática (gs), fotossíntese (A) e transpiração (E) em plantas de algodão e girassol nas três épocas de medição	90
Tabela 4.5 - Resumo da análise de variância para os teores de Na ⁺ , K ⁺ e Ca ²⁺ em folhas de girassol e algodão em função do tempo e dos tratamentos aplicados	92

Tabela 4.6 - Teores foliares médios de Na ⁺ , K ⁺ e Ca ²⁺ em plantas de algodão, girassol em função dos tratamentos aplicados.....	94
Tabela 4.7 - Resumo da análise de variância da produção de matéria seca vegetativa de feijão-de-corda sob diferentes tratamentos de recuperação e sistemas de rotação cultural algodão/feijão-de-corda (AL/FC) e girassol/feijão-de-corda (GI/FC).....	97
Tabela 4.8 - Produção de matéria seca vegetativa de feijão-de-corda (g planta ⁻¹) sob diferentes tratamentos de recuperação e sistemas de rotação cultural algodão/feijão-de-corda (AL/FC) e girassol/feijão-de-corda (GI/FC).....	98
Tabela 4.9 - Resumo da análise de variância para os teores de Na ⁺ , K ⁺ e Ca ²⁺ em plantas de feijão-de-corda.....	99
Tabela 4.10 - Teores foliares médios de Na ⁺ , K ⁺ e Ca ²⁺ em plantas de feijão-de-corda em função dos tratamentos aplicados.....	100

CAPITULO 5

Tabela 5.1 - Atributos físico-químicos e hídricos do solo antes da instalação do experimento na profundidade de 0 a 30 cm.....	110
Tabela 5.2 - Custo de instalação de 1,0 ha de drenagem subterrânea + dreno coletor.....	114
Tabela 5.3 - Custo de recuperação do solo (R\$ ha ⁻¹) em função dos tratamentos.....	115
Tabela 5.4 - Receita bruta média (R\$ ha ⁻¹) obtida das três culturas em função dos tratamentos.....	115
Tabela 5.5 - Dados para o cálculo dos indicadores de rentabilidade do Tratamento T1.....	116
Tabela 5.6 - Dados para o cálculo dos indicadores de rentabilidade do Tratamento T2.....	117
Tabela 5.7 - Dados para o cálculo dos indicadores de rentabilidade do Tratamento T3.....	117
Tabela 5.8 - Dados para o cálculo dos indicadores de rentabilidade do Tratamento T4.....	118
Tabela 5.9 - Dados para o cálculo dos indicadores de rentabilidade do Tratamento T5.....	118
Tabela 5.10 - Relação benefício/custo (B/C), valor presente líquido (VPL) e taxa interna de retorno (TIR) para cada tratamento analisados.....	119
Tabela 5.11 - Relação benefício/custo (B/C), valor presente líquido (VPL) e taxa interna de retorno (TIR) para cada tratamento analisado.....	120

SUMÁRIO

RESUMO GERAL	08
GENERAL ABSTRACT.....	09
INTRODUÇÃO GERAL	17
CAPÍTULO 1: Recuperação de solos salino-sódicos.....	19
1.1Fatores responsáveis pela salinização dos solos.....	19
1.2A salinidade nas áreas irrigadas	19
1.3Recuperação de solos afetados por sais e sódio.....	21
1.4Utilização de gesso e matéria orgânica como corretivos de solos afetados por sais.....	23
1.5Análise de viabilidade econômica do processo de recuperação do solo	24
1.6REFERÊNCIAS	28
CAPÍTULO 2 - Drenagem subterrânea seus efeitos no desenvolvimento e produção do coqueiro	34
RESUMO	34
ABSTRACT	35
2.1INTRODUÇÃO.....	36
2.2MATERIAL E MÉTODOS.....	38
2.2.1Localização e caracterização da área.....	38
2.2.2Caracterização climática	39
2.2.3Instalação do sistema de drenagem subterrâneo.....	39
2.2.4Instalação dos poços de observação e monitoramento do lençol freático.....	43
2.2.5Avaliação de crescimento e produção do coqueiro	43
2.3RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	45
2.3.1Comportamento do lençol freático	45
2.3.2Desenvolvimento e produção de plantas de coqueiro	46
2.4CONCLUSÕES	51
2.5REFERÊNCIAS	52
CAPÍTULO 3: Produtividade de sistemas de rotação algodão/ feijão-de-corda e girassol/ feijão-de-corda durante o processo de recuperação de um solo salino- sódico	54
RESUMO	54

ABSTRACT	55
3.1INTRODUÇÃO	56
3.2MATERIAL E MÉTODOS	58
3.2.1Localização e caracterização da área	58
3.2.2Caracterização do solo da área	58
3.2.3Delineamento experimental e tratamentos.....	59
3.2.4Cultivos irrigados na estação seca (algodão e girassol).....	60
3.2.5Cultivo do feijão-de-corda durante a estação chuvosa	62
3.2.6Coleta e análises de solo e água drenada	63
3.2.7Análises Estatísticas.....	64
3.3RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	65
3.3.1Atributos químicos do solo e da água drenada	65
3.3.2Rendimento do algodão, girassol e feijão-de-corda	69
3.4CONCLUSÕES	73
3.5REFERÊNCIAS	74
CAPÍTULO 4: Crescimento, trocas gasosas e teores de íons em algodão, girassol e feijão-de-corda, cultivados em rotação durante a recuperação de um solo salino sódico	77
RESUMO	77
ABSTRACT	78
4.1INTRODUÇÃO	79
4.2MATERIAL E MÉTODOS	81
4.2.1Localização e caracterização da área	81
4.2.2Caracterização do solo da área	81
4.2.3Delineamento experimental e tratamentos.....	82
4.2.4Cultivos irrigados na estação seca (algodão e girassol).....	83
4.2.5Cultivo do feijão-de-corda durante a estação chuvosa	86
4.2.6Análises estatísticas	87
4.3RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	88
4.3.1Produção de matéria seca vegetativa de girassol e algodão	88
4.3.2Trocas gasosas em plantas de algodão e girassol.....	89
4.3.3Teores de Na ⁺ , K ⁺ e Ca ²⁺ em folhas de algodão e girassol.....	91
4.3.4Produção de matéria seca e teores de íons em feijão-de-corda	96
4.4CONCLUSÕES	102

4.5	REFERÊNCIAS	103
CAPÍTULO 5: Análise de viabilidade econômica do processo de recuperação de um solo salino sódico em Pentecoste, Ceará.....		
		106
RESUMO		106
ABSTRACT		107
5.1	INTRODUÇÃO	108
4.2	MATERIAL E MÉTODOS	110
5.2.1	Localização e caracterização da área	110
5.2.2	Sistema de drenagem	111
5.2.3	Delineamento experimental e tratamentos	111
5.2.4	Indicadores de rentabilidade do processo de recuperação	112
5.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	114
5.3.1	Avaliação econômica do processo de recuperação do solo	114
5.3.2	Análise dos indicadores de rentabilidade	115
5.4	CONCLUSÕES	122
5.5	REFERÊNCIAS	123

INTRODUÇÃO GERAL

A salinidade tem sido vista atualmente como uma das principais causas de degradação dos solos, pois se constitui em um grande prejuízo socioeconômico e risco para as gerações futuras, tendo em vista que o solo é um dos recursos naturais renováveis mais importantes, e por sua vez, responsável pela ciclagem dos nutrientes e sustentabilidade de todos os demais sistemas naturais.

Estima-se que no mundo 19,5% das terras irrigadas e 2,1% das não irrigadas estejam afetadas pelos sais. A salinização dos solos é particularmente evidente nas regiões áridas e semiáridas, atingindo em torno de 25% das áreas irrigadas. Estima-se também que nessas regiões ocorra uma perda de cerca de 1,5 milhões de hectares de terras aráveis a cada ano devido ao acúmulo de sais (FAO, 2006).

No Brasil a estimativa é que de 20 a 25% das áreas irrigadas enfrentam problemas de salinização (FAO, 2006). Este problema é mais visível na região Nordeste mais especificamente nos Perímetros Irrigados, encontrados no polígono das secas, onde aproximadamente 52% da superfície é semiárida (HOLANDA *et al.*, 2010).

No Estado do Ceará, destacam-se os Perímetros de Irrigação Morada Nova e Curu-Pentecoste, constituídos por solos aluviais, sendo suas áreas sistematizadas e propícias para a irrigação por superfície. Em geral, são solos de textura variáveis, em camadas estratificadas, resultantes de deposição recente de sedimentos e de boa fertilidade. Por outro lado, os problemas de drenagem decorrentes da baixa condutividade hidráulica dificultam a lixiviação dos sais das águas de irrigação e trazem perigos de salinidade nessas áreas.

Os sais predominantes nas áreas dos Perímetros de Irrigados Morada Nova e Curu-Pentecoste são formados pelos cátions cálcio, magnésio, sódio e potássio e pelos ânions cloreto, sulfato, carbonato e bicarbonato. Freire *et al.* (2003a) relatam que quando a predominância é do sódio no complexo sortivo do solo em relação ao cálcio, o solo pode apresentar dispersão de coloides, que conduz à degradação de suas propriedades físicas.

No entanto, diversas práticas de manejo em áreas salinas no mundo têm sido realizadas mostrando melhorias nas condições de solos afetados por sais. Essas melhorias podem ser obtidas adotando-se o cultivo de espécies tolerantes, o rebaixamento do lençol freático, a aplicação de melhoradores químicos, o uso de rotação de culturas, dentre outras.

O cultivo de plantas tolerantes permite o aproveitamento dessas áreas, garantindo a obtenção de colheitas satisfatórias e retorno econômico durante o processo de recuperação

(OSTER; HOFFMAN; ROBINSON, 1984; SHARMA; RAO, 1998; GOMES; GHEYI; SILVA, 2000; MURTAZA; GHAFOR; QADIR, 2006).

O tipo e a quantidade de condicionador químico a ser aplicado no solo dependem das características do solo, do tempo que requer sua reação, das limitações econômicas e da disponibilidade regional dos produtos. Por seu custo relativamente baixo, o gesso é o condicionador químico mais comumente usado, para a recuperação de solos afetados por sódio (BARROS *et al.*, 2005). No entanto, o uso de matéria orgânica e a utilização de leguminosas têm apresentado, também, bons resultados, tanto para o desenvolvimento das culturas como para o processo de melhoramento das condições físico-hídricas do solo (GOMES; GHEYI; SILVA, 2000; COSTA *et al.*, 2005; MURTAZA; GHAFOR; QADIR 2006). Em adição, a instalação de um sistema de drenagem subterrânea nessas áreas irrigadas constitui uma das principais infraestruturas no processo de dessalinização dos solos, além de prevenir e solucionar os problemas associados à elevação do lençol freático (COSTA *et al.*, 2005; MURTAZA; GHAFOR; QADIR, 2006).

O uso da rotação de culturas na agricultura é uma prática que consiste em alternar, anualmente, espécies vegetais, numa mesma área agrícola. Ela se estabelece pelo plantio sequenciado de espécies com diferentes tipos de sistema radicular e diferentes exigências nutricionais na busca de garantir a cobertura vegetal permanente do terreno, além de reduzir perdas de nutrientes por lixiviação e melhorar a qualidade física e química do solo (SIQUEIRA NETO *et al.*, 2009; SEGAL *et al.*, 2010; CORREIA; LEITE; DANIEL, 2011; PACHECO *et al.*, 2011).

Diante do exposto, objetivou-se no trabalho estudar o uso de gesso agrícola e de matéria orgânica na forma de esterco de curral curtido juntamente com a instalação de um sistema de drenagem subterrâneo visando minimizar os efeitos da salinidade e da sodicidade em um solo salino sódico do Perímetro Irrigado Curu Pentecoste, no município de Pentecoste, Ceará, bem como verificar a viabilidade econômica do processo de recuperação e a resposta do algodão (*Gossypium hirsutum* L.) cv. BRS 187 8H, girassol (*Helianthus annuus* L) cv. Catissol e feijão-de-corda (*Vigna unguiculata* L. Walp) consorciados com a cultura do coqueiro (*Cocos nucifera* L.).

CAPÍTULO 1: Recuperação de solos salino-sódicos

1.1. Fatores responsáveis pela salinização dos solos

A origem dos problemas de salinidade é produto da intemperização das rochas, envolvendo processos físicos, químicos e biológicos, mediante a ação de fatores como clima, relevo, organismos vivos e o tempo (DIAS, 2004). A salinidade é um problema que atinge cerca de 45 milhões (19,5%) dos 230 milhões de hectares da área irrigada do globo terrestre. O excesso de sais limita severamente a produção agrícola principalmente nas regiões áridas e semiáridas, onde cerca de 25% da área irrigada encontra-se salinizada (FAO, 2006).

Segundo Oliveira (1997) a salinização induzida pelo homem é mais perceptível em ambientes de elevada evapotranspiração e baixa precipitação pluviométrica no curso do ano. A salinização induzida se manifesta em decorrência da irrigação praticada nessas áreas, onde o controle da drenagem não é feito ou feito de forma ineficiente. Do ponto de vista antrópico há muitos outros fatores. Dentre eles destaca-se a seleção dos métodos de irrigação, o índice de salinidade dos fertilizantes e o transporte de sais aos solos através das irrigações, dentre outros (FREIRE, 1997). Para Silva Filho *et al.* (2000) e D'Almeida, Andrade e Meireles (2005), o processo de salinização dos solos pode não estar ligado diretamente à qualidade da água utilizada na irrigação, dependendo também das características físico-químicas do solo em seu estado natural e do manejo aplicado ao mesmo.

No nordeste semiárido, as maiores incidências de áreas salinizadas se encontram nas terras mais intensamente cultivadas com o uso da irrigação, nos chamados Perímetros Irrigados. Souza, Queiroz e Gheyi (2000) afirmam que, em áreas irrigadas, o processo de salinização pode acontecer mesmo em solos com bons atributos, em especial nas situações em que não existe manejo de solo e água adequados.

1.2. A salinidade nas áreas irrigadas

Nas áreas em que as culturas não dispõem de água suficiente para suprir suas necessidades hídricas durante todo o ciclo vegetativo, a irrigação assume papel de fundamental importância no que se refere à garantia de boas safras agrícolas. Especialmente no semiárido, a agricultura depende da irrigação e esta, por sua vez, depende da quantidade e qualidade da água disponível para atender às necessidades hídricas das culturas e gerar a lixiviação do excesso de sais, evitando que sejam acumulados no solo (MIRANDA *et al.*,

2011). Dentre as características que determinam a qualidade da água para a irrigação, a concentração de sais solúveis ou salinidade, é um fator limitante ao desenvolvimento de algumas culturas (FREIRE; FREIRE, 2007), além de promover alterações nos atributos físico-químicos do solo (FREIRE *et al.*, 2003a e b).

Nas áreas intensamente cultivadas sob irrigação, como nos Perímetros Irrigados a maior parte dos sais é transportada ao solo através da água de irrigação, tanto pelo conteúdo salino da água, como também devido ao manejo deficitário da irrigação e a baixa capacidade de drenagem dos solos para a lixiviação dos sais (BARROSO *et al.*, 2003). Em estudos realizados por Leão *et al.* (2009) no Perímetro Irrigado Engenheiro Arcoverde, Estado da Paraíba, verificaram que devido a diversos fatores ligados a produção, como irrigação e adubação excessivas acarretaram no colapso do Perímetro, onde são observados sinais de degradação dos solos decorrente de sua salinização e/ou sodificação.

Trabalhos realizados por Suyama *et al.* (2007) apontam que no oeste do Vale de San Joaquin na Califórnia, muitas terras têm sido ameaçadas pela salinização do solo e da água, devido à elevada salinidade das águas superficiais. Ainda de acordo com os autores, embora os sistemas de drenagem subterrânea possam efetivamente diminuir os lençóis freáticos e facilitem a lixiviação dos sais, sua utilização é limitada pela dificuldade de eliminação da água de drenagem. Souza, Queiroz e Gheyi (2000) avaliando as características químicas do solo aluvial do Projeto de Irrigação Capoeira, Paraíba, verificaram que aproximadamente 24, 27 e 33% da área estudada estão afetadas por sais nas profundidades de 0 – 20, 20 – 40 e 40 – 60 cm, respectivamente.

Silva Filho *et al.* (2002) em trabalho realizado com águas do Açude Epitácio Pessoa na Paraíba, constataram que ao longo dos dezoito meses de monitoramento, a condutividade elétrica apresentou pequenas variações. No entanto, a concentração de sais transportada ao solo pelas irrigações apresentou um incremento máximo de 27%, variando de 0,89 para 1,13 dS m⁻¹. As áreas com baixos níveis de salinidade não deveriam oferecer maiores problemas à irrigação, todavia, em decorrência do inadequado balanço de sais comumente verificado, normalmente por problemas de drenagem, observa-se uma gradativa salinização do perfil irrigado e um progressivo aumento das áreas problema (CORDEIRO, 2009).

1.3. Recuperação de solos afetados por sais e sódio

A salinidade e a sodicidade do solo estão entre as principais causas de degradação em ambiente semiárido, pois ocasionam danos às propriedades do solo e à produtividade vegetal, o que culmina em sério impacto social, econômico e ambiental. Sendo assim, formas de recuperação desses solos contribuem para a melhoria da produtividade e sustentabilidade desses solos (SOUZA, 2010).

Atualmente, os solos afetados por sais estão presentes em mais de 100 países, sendo que muitas regiões caracterizam-se pela salinização causada pela água de irrigação (RENGASAMY, 2006). De acordo com Qadir *et al.* (2007) práticas de recuperação e de manejo eficientes devem ser adotadas, já que o uso desses solos para a agricultura é um recurso valioso que não pode ser negligenciado.

Dentre as técnicas de recuperação de solos salinos e salino-sódicos, a aplicação de corretivos químicos e a lavagem do solo são bastante utilizadas, por atuarem diretamente na correção dos problemas desses solos em relação às plantas (MONTENEGRO; MONTENEGRO, 2004). A utilização de condicionadores como gesso, ácido sulfúrico, enxofre ou aplicação de grandes quantidades de matéria orgânica, tem contribuído na melhoria dos solos com problemas de sodicidade. Trabalhos realizados pelo Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal da Paraíba, como por exemplo, Gheyi *et al.*, (1995) e Silva, (2004) mostram resultados satisfatórios com a utilização desses produtos. Borges *et al.* (1997a e b) observaram que doses elevadas de gesso em solos com camada subsuperficial compactada, promoveram efeito floculante no solo e redução nos valores de densidade do solo, com o aumento das doses de gesso aplicadas. Condicionadores orgânicos como esterco de curral, casca de arroz e vinhaça também podem contribuir na redução da percentagem de sódio trocável (PST) devido, possivelmente à liberação de CO₂ e ácidos orgânicos durante a decomposição da matéria orgânica, além de atuarem como fontes de cálcio e magnésio (CHOUDHARY *et al.*, 2006; FREIRE; FREIRE, 2007; LI; KEREN, 2009).

Joachim, Makoi e Ndakidemi (2007) demonstraram que a combinação de esterco e gesso é provavelmente a melhor escolha na melhoria das propriedades físico-químicas do solo e produtividade de milho em solos sódicos. Mas, segundo os mesmos autores, essas influências benéficas só foram notadas quando as aplicações foram estendidas para o segundo ano. Araújo *et al.* (2011) observaram que a aplicação de 20 t ha⁻¹ de gesso e 40 t ha⁻¹ de

matéria orgânica proporcionou já no primeiro ano, a redução da percentagem de sódio trocável do solo de 50% para 2%.

A aplicação de gesso aos solos salinizados seguida de aplicações de lâminas de lixiviação, em geral, têm proporcionado alterações nos atributos químicos favoráveis ao crescimento dos vegetais (VITAL *et al.*, 2005). Trabalhos realizados por Bahçeci (2009) em solos salino-sódicos na Turquia, apresentaram resultados em que a aplicação de 20 t ha⁻¹ de gesso junto com 300 a 360 cm de água de irrigação eliminou uma quantidade de sódio trocável equivalente a uma aplicação de 35-40 t ha⁻¹ de gesso e melhorou a taxa de infiltração de água no solo. Burt e Isbell (2005) obtiveram resultados semelhantes quando conduziram experimento utilizando a lixiviação na recuperação em um pomar de pistache por gotejamento no sul Huron, Califórnia.

O uso de corretivos de reação ácida, como o H₂SO₄, também é indicado para recuperação de solos sódicos ou salino-sódicos por ter como principal vantagem, sua alta eficiência em reduzir o pH dos solos para níveis mais apropriados ao desenvolvimento das plantas. (AMEZKETA; ARAGÜÉS; GAZOL, 2005). Leite *et al.* (2010) trabalhando com espécies arbóreas em solo salino-sódico verificaram que o uso dos corretivos como o ácido sulfúrico e o gesso proporcionaram aumentos de matéria seca da parte aérea e na altura de plantas superiores aos do solo salino-sódico sem correção. Resultados similares foram obtidos por Farias Junior *et al.* (2007) quando constataram que o gesso e o ácido sulfúrico aumentaram a produção de matéria seca de moringa e por Holanda *et al.* (2007) que verificaram maior crescimento em altura e diâmetro das espécies Nim.

A fitoextração de sais solúveis utilizando plantas halófitas, é outra técnica de baixo custo que vem sendo utilizada para recuperação de solos salinos, que segundo Qadir *et al.* (2007), é uma estratégia eficiente de recuperação de solos salino-sódicos, com desempenho comparável à utilização de corretivos químicos. Dentre as diversas espécies que podem ser usadas para fitorremediação de solos com problemas de sais, a *Atriplex nummularia* se destaca devido atender as conveniências para a eficiência do processo de fitoextração, pela produção abundante de biomassa em solos com altos teores de sais (SOUZA, 2010).

A drenagem também é um componente essencial de um projeto de irrigação e recuperação de solos afetados por sais. Muitos trabalhos têm sido desenvolvidos pelo Central Soil Salinity Research Institute para o desenvolvimento de critérios para projetos de drenagem subsuperficial em solos alagados e salinos de região aluvial (CENTRAL..., 2004)). Sales *et al.* (2004) analisando o desempenho de um sistema de drenagem subterrânea em área cultivada

com a cultura da videira no Ceará, constataram que o sistema de drenagem reduziu os níveis de salinidade do solo que antes da instalação alcançavam valores de até 10 dS m^{-1} , para uma faixa inferior a 2 dS m^{-1} de salinidade que não apresenta riscos para a cultura.

1.4. Utilização de gesso e matéria orgânica como corretivos de solos afetados por sais

O gesso agrícola ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) é um sal neutro com solubilidade de aproximadamente $2,1 \text{ g L}^{-1}$, a $25 \text{ }^\circ\text{C}$, naturalmente presente em solos das regiões áridas e semiáridas, e bastante utilizado como corretivo químico dos solos. Leite *et al.* (2010), em solo salino-sódico do Perímetro Irrigado Engenheiro Arco Verde no município de Condado Paraíba observaram que o gesso apresentou maior potencial para deslocar o sódio do complexo de troca, podendo ser indicado para reduzir o teor deste elemento em solos afetados por sais.

Em um experimento de campo utilizando o gesso incorporado ao solo para a correção da salinidade e sodicidade de solos salino-sódicos, Tavares Filho *et al.* (2012) verificaram que a aplicação do corretivo causou decréscimo do sódio e aumento do cálcio no extrato de saturação do solo. Resultados semelhantes também foram obtidos por Barros *et al.* (2005) e Melo *et al.* (2008), que verificaram que a aplicação do nível de 100% da necessidade de gesso promoveu redução da sodicidade de amostras de solos salino-sódicos coletadas no Perímetro Irrigado de Custódia.

De acordo com Leite *et al.* (2007), a aplicação de gesso em dois solos sódicos reduziu os teores de sódio solúvel e os teores solúveis de cálcio e magnésio foram expressivamente incrementados em relação aos valores antes de iniciar o estudo.

A matéria orgânica mesmo não sendo considerada um corretivo químico, exerce efeitos positivos na melhoria química e física dos solos afetados por sais (GHEYI *et al.*, 1995). Apesar de seus baixos valores quantitativos, principalmente em cálcio, promove a liberação de CO_2 e estimula a oxidação biológica e a atividade microbiana resultando na diminuição da CEEs, PST e aumentando a dinâmica da água no solo (SILVA, 1997). Almeida (1994) estudando o efeito de torta de filtro e vinhaça (subproduto da cana-de-açúcar) como alternativas de recuperação de um solo com problemas de sódio trocável constatou que o gesso apresentou melhores resultados, quando comparado com a torta de filtro e observou ainda que a lixiviação do solo com vinhaça superou positivamente os resultados, provenientes da lixiviação com a água das chuvas, em todos os tratamentos. Holanda *et al.* (1998) constataram que o esterco de curral foi benéfico na redução do sódio trocável de um

solo salino-sódico, principalmente quando associado à subsolagem e à gessagem. Silveira (1999) tem sugerido a vinhaça como um corretivo promissor para uso na correção de solos com predominância de sódio trocável.

Gomes, Gheyi e Silva (2000), avaliando a possibilidade de uso desses produtos na recuperação de solos salino-sódicos, relataram reduções na percentagem de sódio trocável (PST) nas camadas de 0-20 e 20-40 cm de profundidade do solo, com destaque para a camada de 0-20 cm, quando ocorreram diminuições de 48,5 para 14% no tratamento com esterco de curral, de 46 para 29% para o tratamento com casca de arroz e de 25 para 17,7%, no tratamento com o uso de gesso.

1.5. Análise de viabilidade econômica do processo de recuperação do solo

De acordo com Gitman (2001) em qualquer projeto de investimento se faz necessário uma abordagem de viabilidade econômico-financeira. Para isso, é importante o entendimento dos fluxos de caixa no tempo, ou seja, o valor do dinheiro no tempo, que é baseado na ideia de que uma unidade monetária hoje vale mais do que outra que será recebida em uma data futura. Isso explica porque se deseja receber o quanto antes e pagar o mais tarde possível uma determinada quantia que não será reajustada ao longo do tempo.

Souza e Clemente (2004) ressaltam que a decisão de investir é de natureza complexa, porque muitos fatores, inclusive de ordem pessoal, entram em cena. Entretanto, é necessário que se desenvolva um modelo teórico mínimo para prever e explicar essas decisões. Ainda segundo os autores, faz-se relevante, avaliar os ganhos potenciais futuros de cada alternativa apresentada, que não são certos, levando em consideração o risco inerente a cada alternativa. Neste sentido, Gitman (2001) afirma que vários investimentos representam dispêndios consideráveis de recursos que comprometem o investidor com um determinado curso de ação. Para tanto se faz necessário mensurar os fluxos de caixa relevantes e aplicar técnicas de decisão apropriadas.

A relação benefício/custo (B/C) é um indicativo usado na análise financeira. Conforme Hoffman (1992) é definida como o quociente entre o valor presente das receitas (benefícios) a serem obtidos e o valor presente dos custos (inclusive os investimentos). O critério de decisão é que o investimento será considerado viável se a relação $B/C > 1$. Assim, quanto maior a relação B/C, mais viável tende a ser o investimento.

Matematicamente, o referido indicador tem a fórmula definida como:

$$B/C = \frac{\sum_{i=0}^n \left(\frac{R_i}{(1+r)^i} \right)}{\sum_{i=0}^n \left(\frac{C_i}{(1+r)^i} \right)}$$

onde:

B/C: relação benefício/custo;

R_i : benefícios (entradas) ou receitas no ano i;

C_i: custos (saídas) no ano i;

r: taxa de desconto

Para se avaliar os fluxos de caixa relevantes ou incrementais de um ativo, pode-se utilizar várias técnicas, entre as quais se destaca o Valor Presente Líquido (VPL). De acordo com Souza *et al.* (2003), “considera-se o valor presente líquido (VPL) como subsídio ao processo decisório porque esse indicador é extremamente importante no processo de análise de projetos de investimentos de capital”. Assim, o projeto será aceito caso o VPL seja positivo, considerando determinada taxa de juros, e será rejeitado se o VPL for negativo.

O Valor Presente Líquido (VPL) é descrito como:

$$VPL = \sum_{i=0}^n \left(\frac{R_i - C_i}{(1+r)^i} \right) = \sum_{i=0}^n \left(\frac{R_i}{(1+r)^i} \right) - \sum_{i=0}^n \left(\frac{C_i}{(1+r)^i} \right)$$

onde:

VPL: valor presente líquido;

R_i: benefícios (entradas) ou receitas no ano i;

C_i: custos (saídas) no ano i;

r: taxa de desconto

Outra técnica bastante utilizada é a Taxa Interna de Retorno (TIR). A TIR representa, segundo Ferreira (2005), a taxa de desconto que iguala o valor presente dos fluxos de caixa futuros ao investimento inicial de um determinado projeto. Ela é calculada igualando a equação do VPL à zero. Além da riqueza gerada pelo projeto, outro aspecto importante no momento de sua análise é o tempo que demora a recuperar o capital investido. Segundo Motta e Calôba (2002), de forma geral, quanto mais alongado o prazo de retorno do investimento, ou *payback*, menos interessante ele se torna para o investidor. O “*payback*” pode ser utilizado como referência para julgar a atratividade relativa das opções de investimento, na medida em que representa o período médio de retorno do capital, sendo que quanto maior for este período

mais exposto às incertezas, ao longo do tempo, estará o projeto e, por conseguinte, menos atraente será o mesmo.

Vários são os trabalhos que aplicam as técnicas de análise de viabilidade econômica para analisar projetos agrícolas. Podem se destacar os projetos desenvolvidos por Brito (2004) em cultivo de manga orgânica, Sperotto *et al.* (2005) em cultivo de algodão, Olinquevitch *et al.* (2006) em reflorestamento com eucalipto, Secaf *et al.* (2006) em sistemas agroflorestais, dentre outros. No entanto, por ser um processo bastante oneroso, são poucos os trabalhos que tratam da avaliação de viabilidade econômica das tecnologias empregadas na recuperação de áreas degradadas por sais, havendo pouca informação sobre seus benefícios. Dos trabalhos realizados que tratam dessa temática destacam-se os desenvolvidos por Barla (1998) em análise econômico-financeira de drenagem subterrânea na Índia, assumindo uma taxa de desconto de 12%, obteve relação B/C de 2.6, VPL por ha: Rs. (Rúpias) 54900 e TIR de 28%. Segundo o autor a análise indica que o sistema de drenagem subsuperficial é um método econômico para recuperar terras alagadas e/ou salina. Gupta (2007), em experiências de uso de drenagem subterrânea para a recuperação de áreas salinas e alagadas na Índia obtiveram resultados satisfatórios. Costa *et al.* (2005) também obtiveram a viabilidade do processo de recuperação do solo estudando indicadores de rentabilidade da recuperação de um solo sódico no Vale do Curu, Ceará.

Chinnapa e Nagaraj (2007) em avaliação do impacto econômico do uso da tecnologia da drenagem subterrânea na melhoria dos solos afetados por sais na Índia obtiveram valores de taxa de juros de 15% ao ano, a relação B/C de 1,54; o VPL de Rs (Rúpias) 127.624 um “payback” de 0,58 ano. Segundo os mesmos autores, o governo deve ter como objetivo, incentivar e educar os agricultores quanto à adoção da tecnologia de drenagem subterrânea, em grande escala.

Araújo *et al.* (2011) em análise econômica do processo de recuperação de um solo sódico no Perímetro Irrigado Curu-Pentecoste, Ceará, verificaram que o processo de recuperação apresentou viabilidade econômica a uma taxa de juros de 12% ao ano, porém, considerando-se que o “payback” que foi de nove anos, torna-se notória a necessidade da criação de uma linha de crédito subsidiada, destinada a agricultores familiares, como forma de incorporar, ao processo produtivo, as extensas áreas de solos degradados por sódio.

No entanto, apesar de existirem trabalhos nessa linha ainda há que se considerar uma grande carência de informações de indicadores econômicos para recuperação de solos afetados por sais.

1.6. REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, M. T. **Torta de filtro e vinhaça como alternativas na recuperação de um solo salino-sódico**. 1994. 52f. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1994.
- AMEZKETA, E.; ARAGÜÉS, R.; GAZOL, R. Efficiency of Sulfuric Acid, Mined Gypsum, and Two Gypsum By-Products in Soil Crusting Prevention and Sodic Soil reclamation. **Agronomy Journal**, v. 97, 2005.
- ARAÚJO, A. P. B. *et al.* Análise econômica do processo de recuperação de um solo sódico no Perímetro Irrigado Curu-Pentecoste, CE. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** v.15, n.4, p. 377–382, 2011.
- AYRES, R. S.; WESCOT, D. W. **A qualidade da água na agricultura**. Campina Grande, UFPB, 1999. 153p
- BAHÇEÇI, I. Determination of salt leaching and gypsum requirements with field tests of saline–sodic soils in central turkey. **Irrigation and Drainage**, v 58, n 3,p. 332–345, 2009.
- BARLA, C. S. Economic and financial analysis of subsurface drainage in black soilsof Chambal Command. **National Seminar on Socio-economicalAspects of Subsurface Drainage and Water Management**, Keynote papers, v.2, 1998.
- BARROS, M. F. C. *et al.* Aplicação de gesso e calcário na recuperação de solos salino-sódicos do Estado de Pernambuco. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 9, p. 320-326, 2005.
- BARROSO, P. A. V. *et al.* Efeito do cultivo *in vitro* na presença de NaCl em plantas de abacaxizeiro na fase de aclimatização. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.7, n.3, p.473-477, 2003.
- BRITO, W. S. F. Custos e Viabilidade Financeira da Agricultura Orgânica versus Agricultura Convencional: O Caso da Manga no Vale do São Francisco. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CUSTOS*, 11, 2004, Porto Seguro. **Anais... XI Congresso Brasileiro de Custos**. Porto Seguro: ABCustos, 2004. 1 CD.
- BORGES, E. N. *et al.* Gesso e matéria orgânica na flocculação de argila e na produção de soja em um Latossolo Vermelho Escuro com camada subsuperficial compactada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.21, n.1, p119-123, 1997b.
- BORGES, E. N. *et al.* Misturas de gesso e matéria orgânica alterando atributos físicos de um Latossolo com compactação simulada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.21, n.1, p.125-130, 1997a.
- BURT CM, ISBELL B. Leaching of accumulated soil salinity under drip irrigation conditions. **Transactions of the ASAE** v.48, p. 2115–2121, 2005.

CENTRAL SOIL SALINITY RESEARCH INSTITUTE. Use of poor quality water. *In: _____*. **Reclamation and management of salt-affected soils**. – Karnal (Haryana) Índia, 2004. p.91-121.

CHINNAPA, B.; NAGARAJ, N. An economic analysis of public interventions for amelioration of irrigation-induced soil degradation. **Agricultural Economics Research Review**, v.20, p.375-384, 2007.

CHOUDHARY, O. P. *et al.* **Long-term effect of sodic water irrigation, amendments and crop residues incorporation on soil properties and crop yields under rice-wheat cropping system**. 2ed. International Rice Congress, New Delhi, India, 2006, p. 346.

CONAB – Companhia nacional de Abastecimento. **Acompanhamento de safra brasileira: grãos, terceiro levantamento, dezembro de 2010**. Brasília, 2010. Disponível em: http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/11_12_08_1... Acesso em: 20 de julho de 2012a.

CORDEIRO, G. **Salinidade em áreas irrigadas**. Petrolina, 1999. Disponível em: <http://www.cpsa.embrapa.br/artigos/salinidade.html>. Acesso em: 29 maio de 2009.

CORREIA, N. M.; LEITE, M. B.; DANIEL, B. Efeito do consórcio de milho com Panicum maximum na comunidade infestante e na cultura da soja em rotação. **Planta Daninha**, v.29, n.3, p.545-555, 2011.

COSTA, R. N. T. *et al.* Indicadores econômicos da recuperação de um solo sódico em condições de drenagem subterrânea no Vale do Curu, CE. **Irriga**, v. 10, p. 272-278, 2005.

D'ALMEIDA, D. M. B. A.; ANDRADE, E. M.; MEIRELES, A. C. M. Importância relativa dos íons na salinidade de um Cambissolo na Chapada do Apodi, Ceará. **Engenharia Agrícola**, v.25, n.3, p.615-21, 2005.

DIAS, N. S. **Manejo da fertirrigação e controle da salinidade em solo cultivado com melão rendilhado sob ambiente protegido**. 2004. 110 f. Tese (Doutorado em irrigação e Drenagem) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” - Universidade de São Paulo. Piracicaba, 2004.

FAO. **Water in agriculture: opportunity untapped**. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2006.

FARIAS JUNIOR, J. A. *et al.* **Impacto de corretivos em atributos de solo salinizado e em plantas**. Workshop: Manejo e Controle da Salinidade na Agricultura Irrigada, Recife, **Anais...** 2007.

FERREIRA, J. A. S. **Finanças Corporativas: conceitos e aplicações**. São Paulo: Pearson/Prentice Hall, 2005.

FREIRE, M. B. G. S.; FREIRE, F. J. Fertilidade do solo e seu manejo em solos afetados por sais. *In: NOVAIS, R. F. et al.* **Fertilidade do solo**. Viçosa: SBCS, 2007. cap.16, p.929-954.

FREIRE, M. B. G. S. *et al.* Condutividade hidráulica de solos de Pernambuco em resposta à condutividade elétrica e RAS da água de irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.7, p.45-52, 2003a.

FREIRE, M. B. G. S. *et al.* Estimativa do risco de sodificação de solos de Pernambuco pelo uso de águas salinas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.7, p.227-232, 2003b.

FREIRE, M. F. S. **Transporte de sais aos solos pelas águas de irrigação**. Anais do Curso de Pós-Graduação em Manejo de Solo e Água, Areia, v.19, p.41-51,1997.

GHEYI, H. R. *et al.* Comparação de métodos na recuperação de solo salino-sódico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.19, n.2, p.173-178, 1995.

GITMAN, L. J. **Princípios de Administração Financeira**. 2 ed. Porto Alegre: Bookman, 2001.

GOMES, E. M.; GHEYI, H. R.; SILVA, E. F. F. Melhorias nas propriedades químicas de um solo salino sódico e rendimento de arroz, sob diferentes tratamentos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 4, p. 355-361, 2000.

GUPTA, S. K. Experiences of subsurface drainage for reclamation of waterlogged saline lands in irrigation commands. *In*: AMBAST, S. K. *et al.* **Agricultural land drainage: reclamation of waterlogged saline lands**. Central Soil Salinity Research Institute, Karnal, India, p, 231, 2007.

HOFFMANN, R. **Administração da empresa agrícola**. São Paulo: 7. ed. São Paulo: Pioneira, 1992. 325 p.

HOLANDA, J. S. *et al.* Qualidade da água para irrigação. *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, 2010. p. 43-61.

HOLANDA, A. C. *et al.* Desenvolvimento inicial de espécies arbóreas em ambientes degradados por sais. **Revista de Biologia e Ciência da Terra**. Recife, v. 7, n. 1, p. 39-50. 2007.

HOLANDA, J. S. *et al.* Alterações nas propriedades químicas de um solo aluvial salino-sódico decorrentes da subsolagem e do uso de condicionadores. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.22, n.3, p.387-394, 1998.

JOACHIM H, MAKOI JR, NDAKIDEMI PA. Reclamation of sodic soils in northern Tanzania, using locally available organic and inorganic resources. **African Journal of Biotechnology**, v.6, n.16, p.1926–1931, 2007.

LEÃO, A. B. *et al.* Variabilidade espacial da salinidade do solo no Perímetro Irrigado Engenheiro Arcoverde, Condado, PB. **Engenharia Ambiental**, v.6, n.3, p. 404-421, 2009.

LEITE, R. M. B. C; BRIGHENTI, A. M; CASTRO, C. **Girassol no Brasil**. Embrapa Soja: Londrina, PR, 2005.

LEITE, E. M. *et al.* Correção da sodicidade de dois solos irrigados em resposta à aplicação de gesso agrícola. **Irriga**, v.12, n.2, p.168-176, 2007.

LEITE, E. M. *et al.* Crescimento inicial de espécies arbóreas em solo degradado do semi-árido tratado com corretivos. **Revista Verde de agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v.5, n.3, p.179 – 187, 2010.

LI, F.; KEREN, R. Calcareous sodic soil reclamation as affected by corn stalk application a dn incubation: a laboratory study. **Pedosphere** **9**, p.465–475, 2009.

MELO, R. M. *et al.* Correção de solos salino-sódicos pela aplicação de gesso mineral. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.12, p.376-380, 2008.

MIRANDA, M. A. *et al.* Condicionadores químicos e orgânicos na recuperação de solo salino-sódico em casa de vegetação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, n.5, p.484–490, 2011.

MONTENEGRO, A. A. A.; MONTENEGRO, S. M. G. Aproveitamento sustentável de aquíferos aluviais no Semi-Árido. *In*: CABRAL, J. S. P. *et al.* **Água subterrânea: Aquíferos costeiros e aluviões, vulnerabilidade e aproveitamento**. Tópicos especiais em recursos hídricos. Recife, Universidade Federal de Pernambuco, 2004. v.4. 447p.

MURTAZA, G., GHAFOR, A., QADIR, M. Irrigation and soil management strategies for using saline-sodic water in a cotton–wheat rotation. **Agricultural Water Management**, v.81, n.98–114, 2006.

MOTTA, R. R.; CALÔBA, G. M. **Análise de Investimentos**. São Paulo: Atlas, 2002.

OLINQUEVITCH, J. L. *et al.* Análise de Viabilidade de Investimento em Reflorestamento de Eucalipto: Um Estudo Comparativo entre o Corte Raso e o Uso Múltiplo. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE CUSTOS, 13, 2006, Belo Horizonte. **Anais...** . Belo Horizonte: ABCustos, 2006. 1 CD.

OLIVEIRA, M. Gênese, classificação e extensão de solos afetados por sais. *In*: GHEYI, H. R.; QUEIROZ, J. E.; MEDEIROS, J. F. (Ed). **Manejo e controle da salinidade na agricultura irrigada**. Campina Grande: UFPB, 1997. p.1-35.

OSTER, J. D.; HOFFMAN, G. J.; ROBINSON, F. E. Management alternatives: crops, water, and soil. **California Agriculture**, v.36, p.29-32, 1984.

PACHECO, L. P. *et al.* Produção de fitomassa e acúmulo e liberação de nutrientes por plantas de cobertura na safrinha. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.46, n.1, p.17-25, 2011.

QADIR, M. *et al.* Phytoremediation of sodic and saline-sodic soils. **Advances in Agronomy**, v. 96, p.197-247, 2007.

RENGASAMY, P. World salinization with emphasis on Australia. *Journal of Experimental Botany*, v. 57, n. 5 p. 1017-1023, 2006. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.35, n.3, p.672-682, 2006.

SALES, J. L. *et al.* Análise de desempenho de um sistema de drenagem subterrânea na cultura da videira no município de Jaguaruana – CE. **Irriga**, v.9, n.1, p.168-180, 2004.

SECAF, B. F *et al.* Análise econômica da exploração de cupuaçu em sistemas agroflorestais. *In: CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA E SOCIOLOGIA RURAL*, 44., 2006, Ribeirão Preto. **Anais....** Ribeirão Preto: SOBER, 2006. 1 CD.

SEGAL, E. *et al.* Recommendations for nutrient management plans in a semi-arid environment. **Agricultural Ecosystems and Environmental**, v.137, p.317–328, 2010.

SIQUEIRA NETO, M. *et al.* Rotação de culturas no sistema plantio direto em Tibagi (PR). II - Emissões de CO₂ e N₂O. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v.33, p.1023-1029, 2009.

SHARMA, D. P.; RAO, K. V. G. K. Strategy for long term use of saline drainage water for irrigation in semi-arid regions. **Soil & Tillage Research**, v.48, p.287-295, 1998.

SILVA FILHO, S. B. *et al.* Monitoramento da qualidade e acúmulo de sais no solo pela irrigação. **Irriga**, v.5, p35-40, 2002.

SILVA, M. R. M. **Viabilidade de uso de vinhaça na recuperação de um solo salino-sódico**. 2004. 72f. Dissertação (Mestrado em Manejo de Solo e Água) Universidade Federal da Paraíba, Areia, 2004.

SILVA, E. F. F. **Avaliação da eficiência de diversos produtos na recuperação de solo salino-sódico e no desenvolvimento e produção da cultura do arroz (*Oryza sativa* L.)**. 1997, 70f. Dissertação (Mestrado Engenharia Agrícola). Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande, 1997.

SILVEIRA, R. R. DA. **Recuperação de um solo afetado por sódio: Efeito do gesso e da incubação com vinhaça e água destilada**. 1999. 53f. (Trabalho de Conclusão de Curso). Universidade Federal da Paraíba, Areia, 1999.

SOUZA, C. P. *et al.* **Finanças Corporativas**. Rio de Janeiro: FGV, 2003.

SOUZA, E. R. **Fitorremediação de neossolo flúvico sódico salino de Pernambuco com *Atriplex nummularia***. 2010. 75f. Tese (Doutorado em Agronomia – Ciências do Solo), Universidade Federal Rural de Pernambuco. Recife, 2010.

SOUZA, A.; CLEMENTE, A. **Decisões Financeiras e Análise de Investimentos: fundamentos, técnicas e aplicações**. 5 ed. São Paulo: Atlas, 2004.

SOUZA, L. C.; QUEIROZ, J. E.; GHEYI, H. R. Variabilidade espacial da salinidade de um solo aluvial no semi-árido paraibano. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.4, n.1, p.35-40, 2000.

SPEROTTO, M. H; XAVIER, A., O.; SILVA, L. C. Análise de viabilidade para implantação da cultura de algodão na Empresa Rural Fazenda Alberto Sperotto. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ADMINISTRAÇÃO RURAL*, 5, 2005, Campinas. **Anais...** Campinas: ABAR, 2005. 1 CD.

SUYAMA, H. *et al.* Forage yield and quality under irrigation with saline-sodic drainage water: Greenhouse evaluation. **Agricultural Water Management**, v.88, p.159–172, 2007.

TAVARES FILHO, A. N. *et al.* Incorporação de gesso para correção da salinidade e sodicidade de solos salino-sódicos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.16, n.3, p.247–252, 2012.

VITAL, A.M. *et al.* Comportamento de atributos químicos de um solo salino-sódico tratado com gesso e fósforo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.9, n.1, p.30-36, 2005.

CAPÍTULO 2: Drenagem subterrânea e seus efeitos no desenvolvimento e produção do coqueiro

RESUMO

O trabalho foi desenvolvido no Perímetro Irrigado Curu-Pentecoste e objetivou avaliar os efeitos da instalação de um sistema de drenagem no desenvolvimento de plantas de coqueiro cultivadas em um solo salino-sódico com sérios problemas de drenagem. O sistema de drenagem constituiu-se de um dreno coletor aberto com 135 m, dez drenos laterais de 45 m, compostos por tubos drenoflex DN 65 mm, manta bidim OP-20 e uma caixa de brita nº 01. No intuito de acompanhar o comportamento do nível do lençol freático da área, após a instalação do sistema de drenagem, foram instalados 40 poços de observação construídos com tubos drenoflex DN 65 mm, envoltos em manta bidim OP 20 e fechados com garrafas pet. O acompanhamento do nível do lençol freático foi realizado diariamente, durante um período de oito meses, observando-se o comportamento do mesmo ao longo dos sete dias que compreendiam ao intervalo de irrigação. Para acompanhar a resposta do coqueiro à instalação do sistema de drenagem, foram realizadas medições de altura de plantas, circunferência do coleto, comprimento da terceira folha e produtividade, a um, nove e vinte e um meses após a instalação do sistema de drenagem. A utilização da subsolagem juntamente com a instalação do sistema de drenagem subterrâneo proporcionou um rebaixamento médio do lençol freático de 0,3 m e promoveu melhorias nas condições físicas do solo aumentando a condutividade hidráulica; Com o rebaixamento do lençol freático da área as plantas de coqueiro apresentaram maior desenvolvimento culminando com a primeira colheita quatorze meses após a instalação do sistema de drenagem; A produção do coqueiro desde a primeira colheita realizada tem apresentado evolução crescente passando de 33,3 fruto/planta/ano em 2010/2011 para 152,4 frutos/planta/ ano em 2011/2012.

Palavras-Chave: Problemas de drenagem. Produtividade. *Cocus nucífera*.

CHAPTER 2: Subsurface drainage and its effects on development and Yield of coconut

ABSTRACT

The work was developed in the Irrigated Perimeter Curu-Pentecoste and aimed to evaluate the effects of the installation of a drainage system in the development of coconut plants grown in a saline-sodic soil with serious drainage problems. The drainage system consisted of an open drain collector with 135 m, ten side drains of 45 m, composed of pipes Drenoflex DN 65 mm, geotextile bidim OP-20 and a box of gravel N° 01. In order to monitor the behavior of groundwater level in the area, after the installation of the drainage system were installed 40 observation wells constructed with pipes Drenoflex DN 65 mm, wrapped in blanket bidim OP 20 and closed with plastic bottles. The monitoring of groundwater level was performed daily over a period of eight months, observing the same behavior over the seven days that comprised the interval irrigation. To monitor the response of coconut to the installation of the drainage system, measurements were made of plant height, girth circumference, length of the third leaf and productivity, one, nine, twenty-one months after installation of the drainage system. The use of subsoiling along with the installation of subsurface drainage system provided an average drawdown of the water table of 0.3 m, promoted improvements in soil physical conditions by increasing the hydraulic conductivity; With the lowering of the water table in the area of coconut plants showed further development culminating with the first crop fourteen months after the installation of the drainage system; production of coconuts from the first harvest has shown an increasing trend from 33.3 fruit / plant / year in 2010/2011 to 152.4 fruits / plant / year in 2011/2012.

Keywords: Drainage problems. Productivity. *Cocus nucifera*.

2.1. INTRODUÇÃO

A irrigação no Nordeste brasileiro é vista como uma excelente alternativa para promover a ocupação e o aproveitamento econômico da região, sobretudo por se tratar de uma região semiárida. Contudo, a prática da agricultura irrigada, apesar dos seus êxitos, quando má empregada pode provocar o surgimento de vários problemas, dentre os quais se destacam o encharcamento excessivo e a conseqüentemente salinização dos solos (MACHADO *et al.*, 2007; SOUSA *et al.*, 2011).

O excesso de água é derivado, na maioria das vezes, de irrigações excessivas, de filtrações provenientes de terras mais elevadas e/ou de vazamento de águas dos canais. Esses fatores também são atrelados a presença da camada impermeável a pequenas profundidades, salinização e/ou solidificação. Ao se irrigar um solo de drenabilidade deficiente a nula e em regiões de baixa precipitação, este pode se tornar salino em um período de tempo bastante curto, porque o processo de evapotranspiração remove basicamente a água enquanto que a maior parte dos sais acaba sendo então retida (SOUSA *et al.*, 2011).

A drenagem de terras agrícolas constitui um complemento indispensável aos projetos de irrigação, que além de contribuir para uma produtividade satisfatória das culturas em áreas intensamente irrigadas, auxilia na manutenção dos solos melhorando as condições físicas, químicas e biológicas, criando condições adequadas para o aumento e a melhoria da produtividade/qualidade dos produtos (BATISTA *et al.*, 2002). Entretanto, de maneira geral, os projetos de irrigação têm sido implantados sem os estudos necessários da parte relativa à drenagem e dos critérios agrônômicos de drenagem para as culturas, o que tem propiciado condições favoráveis ao encharcamento e salinização de grande parte das áreas irrigadas (LIMA *et al.*, 2010).

Pizarro (1978) apresenta alguns critérios de drenagem, enfatizando o caráter orientativo das informações, pelas quais, três dias após uma chuva ou irrigação, a profundidade do lençol freático deve atingir 1,4 ou 1,5 m para não afetar significativamente a produtividade das culturas. Ohler (1984) estudando o comportamento de plantas de coqueiro afirma que as inundações podem reduzir drasticamente o número de raízes, por causa da falta de oxigênio. Ainda segundo o autor, estagnações temporárias de duração inferior a 48 horas não causam danos as raízes, entretanto àquelas que ficam submersas por tempo superior a esse podem não resistir.

Portanto, deve-se aplicar a drenagem sempre que se explorar terras novas e é essencial para assegurar o êxito, a longo prazo, de todos os projetos de irrigação. Tem-se que

prever os problemas de drenagem e formular sua solução imediata ou futura por antecipação. Uma vez estabelecida a drenagem adequada, os problemas de salinidade podem ser controlados por meio de manejo eficiente da irrigação.

Diante do exposto, objetivou-se neste estudo instalar um sistema de drenagem subterrâneo e avaliar seu efeito sobre o desenvolvimento de plantas de coqueiro anão em um solo salino sódico.

2.2. MATERIAL E MÉTODOS

2.2.1. Localização e caracterização da área

A pesquisa foi realizada em uma área de agricultor familiar de 0,4 ha cultivada com coqueiro (*Cocus nucífera* L), cultivar anão verde com 2,5 anos de idade localizada no Núcleo A do Perímetro Irrigado Curu Pentecoste, no município de Pentecoste (3° 40'S; 39° 15'W, 50 m), Ceará (Figura 2.1). O Perímetro estende-se às margens do Rio Curu e seus afluentes Canindé e Caxitoré, englobando uma área bruta de 4.569,39 ha, sendo 984,00 ha dotados com infraestrutura de irrigação e o restante destinado às áreas de sequeiro ou áreas mortas, pois são solos com afloramento cristalino, inundados, ou impróprios para a irrigação por motivos diversos. O município de Pentecoste ocupa uma área de aproximadamente 1.378 km² e se encontra localizado no Vale do Curu, região Norte do Estado do Ceará distante da capital, Fortaleza, aproximadamente 115 km com acesso através da BR- 222.

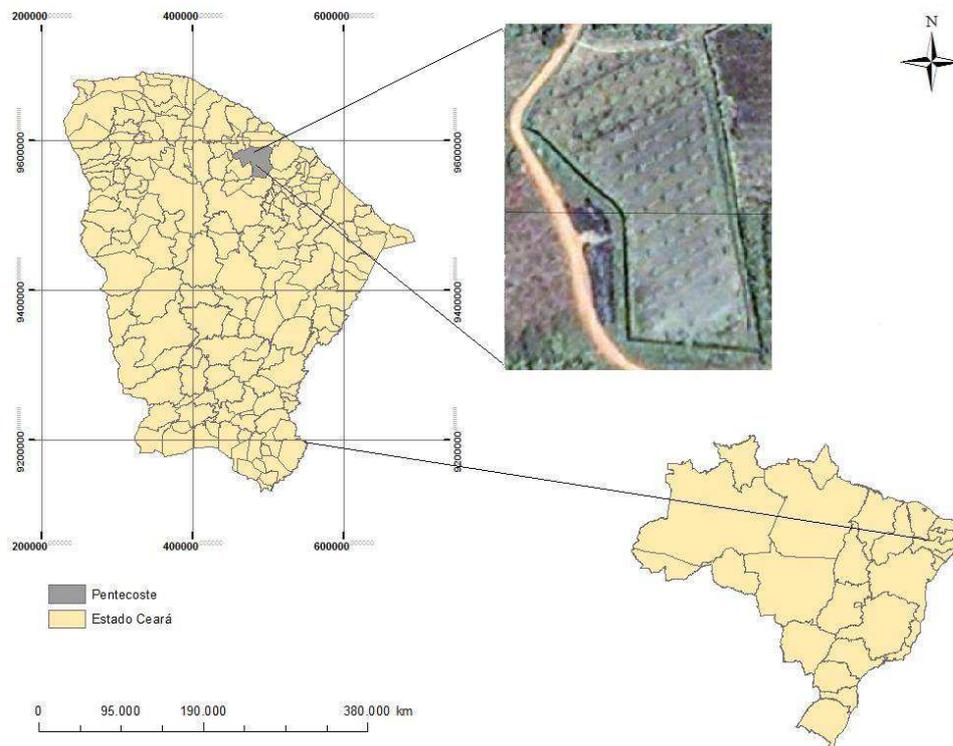


Figura 2.1. Imagem por satélite da área experimental. Pentecoste – CE, 2009.
Fonte: Google earth (2009)

2.2.2. Caracterização climática

O clima da região, segundo a classificação de Köppen (1948), é BSw'h', isto é semiárido com chuvas irregulares, com duas estações climáticas bem definidas, sendo uma seca, que vai geralmente de junho a janeiro, e outra chuvosa, de fevereiro a maio. As médias históricas dos dados climáticos do município para o período compreendido entre os anos de 1975 a 2000 indicam os seguintes valores: precipitação anual de 800,9 mm, temperatura média anual de 27,1 °C e umidade relativa média do ar de 74% (EMBRAPA, 2001). Ao longo da realização do estudo observou-se uma precipitação total de 1479 mm, sendo 413 mm no ano de 2010 e 1066 mm em 2011.

2.2.3. Instalação do sistema de drenagem subterrâneo

As operações de implantação da pesquisa foram iniciadas em agosto de 2009 ainda com a área apresentando muitos problemas de alagamento e sem ponto de escoamento para o excedente de água. Inicialmente foi realizada a limpeza da área juntamente com a limpeza e aprofundamento do dreno coletor, que na ocasião estava servindo como fonte de recarga para a área. Após a limpeza, a área ainda encontrava-se bastante úmida, tendo sido necessário realizar primeiramente gradagens com intervalo de uma semana de uma para outra, com o objetivo de melhorar a estrutura do solo para só então duas semanas após ser iniciada a subsolagem (Figura 2.2).



Figura 2.2 Realização da gradagem (A) e subsolagem (B) na área
Foto: SOUSA, C. H. C. (2009)

Após a conclusão da subsolagem em setembro de 2009, definiram-se os pontos para a escavação das valas para a instalação dos drenos tubulares. Com o auxílio de uma máquina retro escavadeira, iniciou-se a reabertura do dreno coletor e as escavações das valas para instalação do sistema de drenagem subterrâneo ao longo da área. A escavação do dreno coletor foi feita na parte mais baixa da área onde já se encontrava o antigo dreno. A profundidade inicial foi definida em 1,45 m e a partir desta profundidade, foi considerada uma declividade de 0,15% ao longo dos 135 m que correspondiam ao comprimento total do dreno coletor (Figura 2.3). Do comprimento total do dreno, os primeiros 100 m permaneceram abertos e apenas com uma proteção de madeira nas paredes para evitar desmoronamento, os 35 m finais foram revestidos com manilhas de concreto de 0,30 m de diâmetro por 1,0 m de comprimento.



Figura 2.3. Abertura do dreno coletor

Foto: SOUSA, C. H. C. (2009)

As valas para a instalação dos drenos subterrâneos foram escavadas entre linhas de plantio do coqueiro com espaçamento entre si de 8,0 m. As condições de instalação dos drenos foram baseadas no espaçamento da cultura já existente na área e em função do delineamento experimental adotado para os tratamentos do trabalho de recuperação de solo a ser realizado após a instalação do sistema de drenagem. As valas dos drenos foram escavadas partindo de uma profundidade de 1,0 m e a partir desta profundidade, foi adotada uma declividade de 0,3% ao longo dos 45 m de comprimento da linha (Figura 2.4). A profundidade de instalação do sistema de drenagem foi definida em função da limitação de cota de saída do dreno principal do Perímetro Irrigado.



Figura 2.4. Vista de uma das valas para a instalação dos drenos subterrâneos
Foto: SOUSA, C. H. C. (2009)

Para a instalação dos drenos subterrâneos foram utilizados tubos corrugados drenoflex DN 65 mm envoltos em manta bidim OP-20, instalados em uma caixa de brita 01 servindo como envelope do tubo (Figura 2.5). Durante a instalação foi feito o acompanhamento da declividade (drenos laterais 0,3% e coletor 0,15%) com o auxílio de um nível topográfico. Ao final de cada linha de dreno foi conectado um tubo de PVC DN 75 mm para minimizar problemas de erosão no talude junto ao dreno coletor.



Figura 2.5. Tubo drenoflex envolto com manta bidim OP 20 (A), caixa de brita servindo como envelope do tubo de drenagem (B)

Foto: SOUSA, C. H. C. (2009)

Após a instalação dos drenos, procedeu-se o fechamento das valas. Porém, devido à irregularidade com que ficou o terreno após o fechamento das valas, houve a necessidade de

se fazer uma sistematização da área, sendo a mesma realizada entre as linhas de plantio do coqueiro (Figura 2.6).



Figura 2.6. Trator realizando o movimento de terra na sistematização
Foto: SOUSA, C. H. C. (2009)

Com a sistematização concluída e com a finalidade de se realizar o primeiro teste do sistema de drenagem, foi realizado o sulcamento da área (Figura 2.7).



Figura 2.7. Sulcamento (A) e sistema de drenagem sendo testado (B)
Foto: SOUSA, C. H. C. (2009)

2.2.4. Instalação dos poços de observação e monitoramento do lençol freático

Em levantamento preliminar realizado na área em estudo, verificou-se que o lençol freático encontrava-se muito próximo à superfície apresentando profundidade média de 0,17 m. Além dos problemas de salinidade e sodicidade apresentados pela área que comprometiam o processo de infiltração e drenagem, a falta do dreno coletor, os vazamentos dos canais e o excedente de água de irrigação das áreas adjacentes contribuíam para o não rebaixamento do lençol freático.

No intuito de acompanhar o comportamento do nível do lençol freático da área, após a instalação do sistema de drenagem, foram instalados 40 poços de observação construídos com tubos drenoflex DN 65 mm, envoltos em manta bidim OP 20 e fechados com garrafas pet (Figura 2.8). Os poços de observação foram instalados no centro das linhas de plantio do coqueiro sendo espaçados de 10,0 m na linha e 8,0 m entre fileiras. A profundidade de instalação dos poços de observação variou entre 0,9 m e 1,5 m devido à camada de impedimento existente ao longo da área. O acompanhamento do nível do lençol freático foi realizado diariamente, durante um período de oito meses, observando-se o seu rebaixamento longo dos sete dias que compreendiam o intervalo entre as irrigações. As irrigações do coqueiro eram feitas semanalmente por um sistema de sulcos.



Figura 2.8. Detalhe do poço de observação instalado
Foto: SOUSA, C. H. C. (2009)

2.2.5. Avaliação de crescimento e produção do coqueiro

Cerca de um mês após a instalação do sistema de drenagem foram realizadas as primeiras medições em todas as plantas de coqueiro da área, inclusive as plantas que estavam

na periferia da área e que não tinham a contribuição direta dos drenos, com a finalidade de acompanhar o desenvolvimento destas (Figura 2.9). Aos nove e aos vinte e um meses após a instalação do sistema de drenagem repetiu-se o procedimento para fins de comparação.

A primeira colheita do coqueiro foi realizada em novembro de 2010, sendo as demais feitas em intervalos de 30 dias.



Figura 2.9. Medição da circunferência do coleto (A) e alturas de planta (B)
Foto: SOUSA, C. H. C. (2009)

2.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

2.3.1. Comportamento do lençol freático

A Figura 2.10 apresenta o nível do lençol freático antes e após a instalação do sistema de drenagem. O comportamento médio do lençol freático demonstra que antes da instalação do sistema de drenagem subterrâneo praticamente não havia rebaixamento do lençol freático durante o intervalo de irrigação. Este fato pode ser atribuído aos vazamentos dos canais de irrigação, assoreamento do dreno coletor, salinidade, sodicidade e baixa condutividade hidráulica do solo ($0,06 \text{ m dia}^{-1}$). No entanto, após a subsolagem e instalação do sistema de drenagem subterrâneo o lençol freático apresentou um rebaixamento médio de 0,3 m quando se compararam os intervalos de irrigação antes e depois da instalação do sistema de drenagem (Figura 2.10). Vale ressaltar que esse foi o rebaixamento médio da área devido à irregularidade da camada de impedimento, no entanto, em alguns pontos onde essa camada encontrava-se a uma profundidade maior, o rebaixamento foi próximo a 0,5 m.

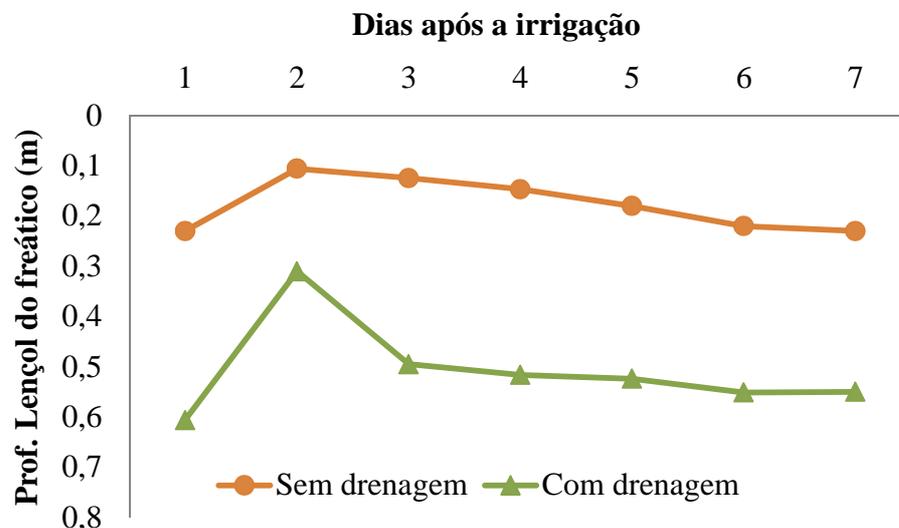


Figura 2.10. Lençol freático observado em poços de observação para um intervalo de irrigação antes e após a instalação do sistema de drenagem

A condutividade hidráulica do solo também foi beneficiada com as intervenções ocorridas na área. Inicialmente a condutividade hidráulica média do solo da área foi classificada como lenta segundo a classificação de Millar (1988) estando dentro da faixa de $0,03$ a $0,12 \text{ m dia}^{-1}$. Em uma avaliação ocorrida um ano após a realização da subsolagem e instalação do sistema de drenagem, foi observado que a condutividade hidráulica média do

solo passou a ser classificada como moderadamente lenta (0,12 a 0,5 m dia⁻¹) com valor médio observado de 0,29 m dia⁻¹).

Em se tratando dos resultados promovidos pelo rebaixamento do lençol freático percebe-se que os efeitos foram bastante significativos, sobretudo para plantas de coqueiro que em pouco tempo já se percebeu a mudança na coloração das plantas de amareladas para verde bem intenso. Em condições de solo saturado na Fazenda São João em Salvaterra, Pará, Vicente (2001) verificou que as raízes dos coqueiros emergiram e desenvolveram-se acima do solo. Nesses locais as plantas, apresentavam folhas mais curtas e bastante cloróticas e produtividade reduzida. Yusuf e Varadan (1993) creditam à redução do crescimento das plantas a diminuição do suprimento de nutrientes e ao mau funcionamento das raízes em solos encharcados. Esses resultados são corroborados por Miranda *et al.* (2003) quando afirmam que cerca de 80% das raízes do coqueiro desde os primeiros anos de cultivo até a idade adulta se concentram até 0,6 m de profundidade e onde qualquer estresse ocorrido nesse intervalo poderá trazer vários danos a planta.

2.3.2. Desenvolvimento e produção de plantas de coqueiro

Na Tabela 2.1, se encontram os dados de circunferência do coleto (CC), altura da planta (AP) e comprimento da terceira folha (CF3) um, nove e vinte um meses após a instalação do sistema de drenagem. Analisando as variáveis durante as três épocas em que se realizaram as medições, verifica-se que houve um crescimento bem expressivo das plantas, como pode ser observado na Tabela 2.1.

Tabela 2.1. Valores médios da circunferência do coleto (CC); altura da planta (AP) e comprimento da terceira folha (CF3) de plantas de coqueiro anão verde um, nove e vinte e um meses após a instalação do sistema de drenagem

Fileiras	Variáveis observadas								
	Um mês			Nove meses			Vinte e um meses		
	CC	AP	CF3	CC	AP	CF3	CC	AP	CF3
	(cm)								
1	51,5	180,8	167,6	76,6	280,0	234,5	80,0	323,0	270,0
2	56,3	183,3	174,0	83,0	286,3	257,5	86,0	330,0	280,0
3	50,5	156,6	161,0	71,0	278,5	240,8	82,0	350,0	296,0
4	58,3	152,5	154,5	78,4	267,6	249,4	86,0	371,0	319,0
5	55,0	154,0	179,2	82,0	304,6	277,4	100,0	345,2	290,2
6	58,2	178,3	171,5	86,1	304,0	293,3	103,0	370,0	325,0
7	45,3	125,0	139,0	68,3	246,5	242,6	81,2	318,5	268,5
8	38,7	131,7	138,8	61,0	247,1	233,8	91,3	340,0	299,0
9	40,4	140,0	143,4	59,4	282,6	232,2	87,6	337,0	284,0
10	33,0	93,3	112,7	49,0	224,3	217,7	82,3	335,0	287,0
P. de fora	32,0	115,0	136,2	47,0	180,0	138,3	71,3	267,6	249,7

*Valores são médias de sete plantas por fileira.

Observando a circunferência do coleto e a altura das plantas na primeira medição, nota-se uma variação média entre 33 cm e 58,3 cm e 93,3 a 183,3 cm, respectivamente para as duas variáveis (Tabela 2.1). Esses valores condizem com os observados por RAMOS *et al.* (2003) quando trabalhavam com diferentes cultivares de coqueiro aos 26 meses de idade. No entanto, Fontes e Passos (2005) encontraram valores superiores aos observados para circunferência do coleto (CC) em plantas com apenas 21 meses de idade. Silva *et al.* (2009) salienta a importância do monitoramento das plantas pelo diâmetro ou circunferência do caule, uma vez que o diâmetro caulinar expressa na parte aérea a situação edáfica no ambiente das raízes. Ainda segundo os autores acima citados a circunferência do caule é um bom indicador do desenvolvimento das plantas na fase jovem, e pode estar correlacionado com a produção se as condições ambientais não se modificarem.

Comparando os valores da primeira medição com a realizada aos 21 meses após a instalação do sistema de drenagem, percebe-se uma evolução substancial dos parâmetros de crescimento das plantas depois da instalação do sistema de drenagem (Tabela 1). Plantas que

na primeira observação tinham em média 149 cm de altura passaram a medir até 272 cm e 342 cm após nove e vinte e um meses respectivamente, portanto acréscimos de 82% e 129%. Quando se faz essa mesma comparação entre plantas que permaneceram fora da área os acréscimos foram em média de 56% e 132% com relação ao valor da primeira medição 115 cm. De acordo com Silva *et al.* (2009) a avaliação do crescimento vegetativo do coqueiro é importante para monitorar não somente o estado nutricional da cultura, mas também o seu potencial produtivo.

A Figura 2.11 mostra as plantas com um, nove e vinte e um meses após a instalação do sistema de drenagem. Vale ressaltar que o pomar de coqueiro estava com 30 meses quando foi realizada a instalação do sistema de drenagem subterrâneo.

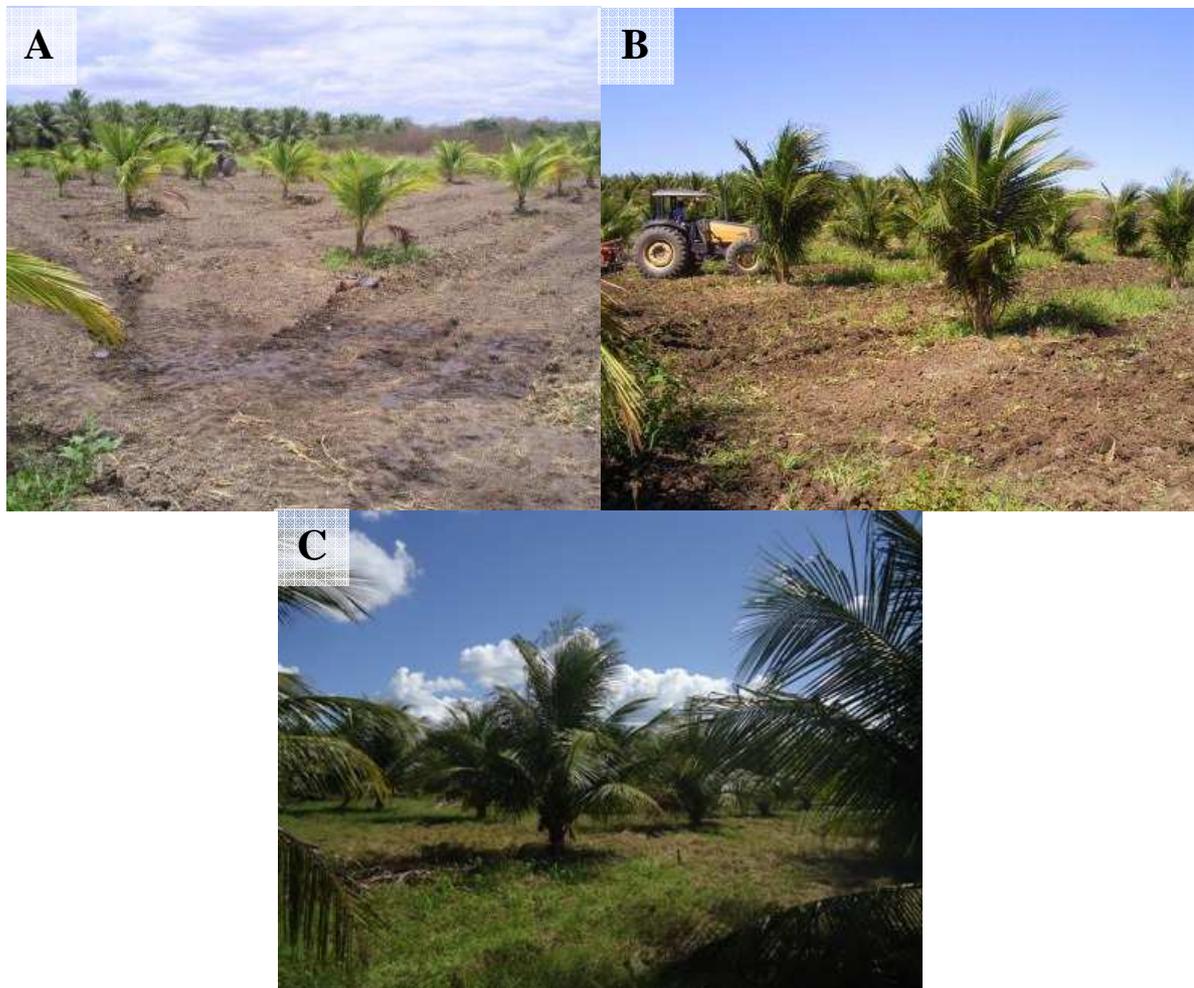


Figura 2.11. Plantas de coqueiro um mês (A), nove meses (B) e vinte e um meses (C) após a instalação do sistema de drenagem subterrâneo

Foto: SOUSA, C. H. C. (2009, A; 2010, B e 2011, C)

A colheita do coqueiro foi iniciada em novembro de 2010, ou seja, 14 meses após a instalação do sistema de drenagem subterrâneo e plantas com quase quatro anos de idade (Figura 2.12).



Figura 2.12. Plantas de coqueiro em época de colheita após a instalação do sistema de drenagem

Foto: SOUSA, C. H. C. (2012)

O coqueiro produziu, em média, 7,7 frutos/planta/mês e a produção mensal de frutos variou de 0,43 frutos/planta no mês de novembro de 2010 a até 16,3 frutos/planta no mês de agosto de 2012 (Figura 2.13).

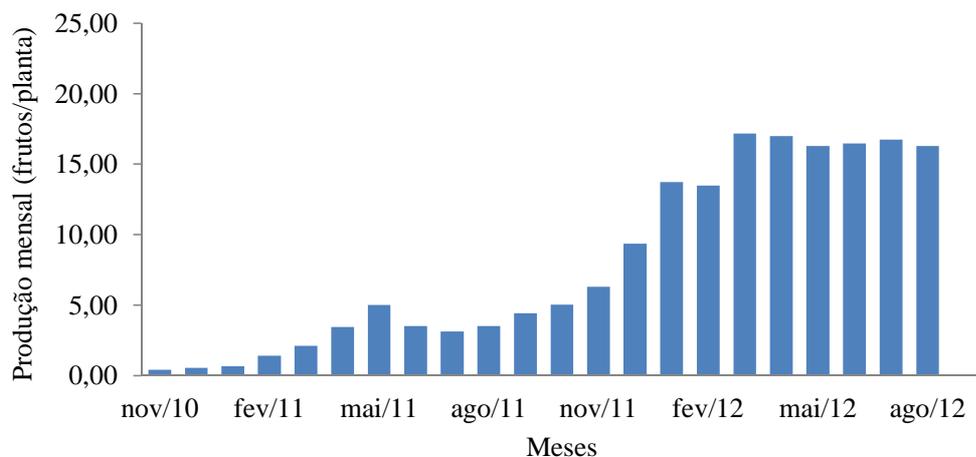


Figura 2.13. Produção mensal do coqueiro. Pentecoste – CE, 2010 - 2012.

A produtividade média do coqueiro durante os anos 2010/2011 e 2011/2012 foi de 33,3 e 152,4 frutos/planta/ano, respectivamente, como apresentado na Figura 2.14, portanto

um incremento em torno de 360%. Miranda *et al.* (2008) estudando o comportamento reprodutivo do coqueiro anão verde na Estação Experimental da Embrapa, no Vale do Curu, Ceará observaram que a produtividade anual ultrapassou a marca de 200 frutos/planta no quarto ano de produção e alcançou uma média anual máxima de 261 frutos/planta no quinto ano. Ainda segundo os autores, a produtividade média do coqueiro anão irrigado por microaspersão durante sete anos de avaliação foi de 218 frutos/planta/ano. Pires *et al.* (2004) haviam obtido rendimentos de 134 frutos/planta/ano, com coqueiro anão e Cuenca e Siqueira (2003) citam como boas produções para essa variedade (inclusive com irrigação) e em boas práticas de manejo, as médias de 80 e 100 frutos/planta /ano, aos quatro e cinco anos depois do plantio.

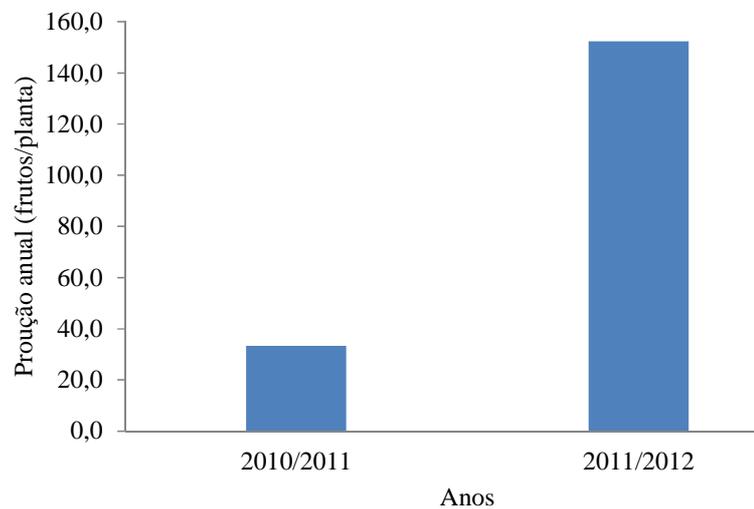


Figura 2.14. Produção anual do coqueiro. Pentecoste – CE, 2010 - 2012.

O suprimento adequado de água durante o ano é um fator determinante para o aumento da produção das palmeiras em geral, inclusive do coqueiro anão verde (PASSOS, 2003). Assim, o lençol freático pode contribuir significativamente para a evolução da planta. Contudo, ele deve permanecer rebaixado de forma a não prejudicar a oxigenação das raízes, pois o coqueiro só se desenvolve bem em áreas bem drenadas (OHLER, 1984; ÁVILA, 2012).

2.4. CONCLUSÕES

A utilização da subsolagem juntamente com a instalação do sistema de drenagem subterrâneo proporcionou um rebaixamento médio do lençol freático de 0,3 m e promoveu melhorias nas condições físicas do solo aumentando a condutividade hidráulica;

Com o rebaixamento do lençol freático, as plantas de coqueiro apresentaram maior desenvolvimento culminando com a primeira colheita cerca de quatorze meses após a instalação do sistema de drenagem;

A produção do coqueiro desde a primeira colheita realizada tem apresentado evolução crescente passando de 33,3 fruto/planta/ano em 2010/2011 para 152,4 frutos/planta/ano em 2011/2012;

Os resultados demonstram que o emprego de técnicas que promovem melhorias nas condições de drenagem do solo, são de fundamental importância para o desenvolvimento das plantas e contribuem para a viabilidade econômica dos sistemas de produção.

2.5. REFERÊNCIAS

- ÁVILA, G. S. **Solo para coqueiro-anão**. Revista Globo Rural. Disponível em: <http://revistagloborural.globo.com/Revista/Common/0,,EMI311920-18289,00> SOLO+PARA+COQUEIROANAO.html, Acesso em: 01 out 2012.
- BATISTA, M.J.; NOVAES, N.; SANTOS, D.G.; SUGUINO, H.H. **Drenagem como instrumento de dessalinização e prevenção da salinização de solos**. 2.ed. revisada e ampliada. Brasília: CODEVASF, 2002. 216 p.
- CUENCA, M.A.G.; SIQUEIRA, L. A. Aspectos econômicos do coqueiro. In: FONTES, H. R.; RIBEIRO, F. E.; FERNANDES, M. F. **Coco: produção, aspectos técnicos**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2003. p.65-71. (Frutas do Brasil, 27).
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Agroindústria Tropical. **Dados climatológicos: estação de pentecoste**. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical/UFC, 2001.
- FONTES, H. R.; PASSOS, E. E. M. **Comportamento do Coqueiro Anão Verde Irrigado Consorciado com Frutíferas na Região dos Tabuleiros Costeiros do Nordeste do Brasil**. Comunicado técnico 37. Embrapa Tabuleiros costeiros, junho 2005. Aracajú-SE.
- KÖPPEN, N. W. **Climatologia: Con un estudio de los climas de la tierra**. México: Fondo de Cultura Económica, 1948. 478p.
- LIMA, V. L. A.; FARIAS, M. S. S., BORGES JÚNIOR, C. F. Drenagem agrícola no manejo dos solos afetados por sais. In: GHEYI, H. R.; DIAS, N. S.; LACERDA, C. F. **Manejo da salinidade na agricultura irrigada: Estudos básicos e aplicados**. 2010. cap. 20, p.369-381.
- OHLER, J. G. **Coconut, tree of life**. Rome: FAO, 1984. 446 p. (FAO. Plant Production and Protection Paper, 57).
- PASSOS E. E. M. **Exigências climáticas**. In: FONTES, H. R.; RIBEIRO, F. E.; FERNANDES, M. F. **Coco Produção : aspectos técnicos**. Brasília; Embrapa – SPI; Aracaju: Embrapa – CPATC, 2003. Cap 4, p. 18 - 20.
- PIRES, M. de M.; COSTA, R. S.; SÃO JOSÉ, A. B.; MIDDLEJ, M. M. C.; ALVES, J. M. A cultura do coco: uma análise econômica. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 26, n. 2, p. 330-334, 2004.
- MACHADO, R.; AGUIAR NETTO, A. O.; CAMPECHE, L. F. S. M.; BARROS, A. C; Efeito da Salinidade em Características Físico-Hídricas em Solos Salino-Sodilizados no Perímetro Irrigado Jabiberi-SE. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v.1, n.1, p.15–19, 2007. Fortaleza, CE.
- MILLAR, A.A. **Drenagem de terras agrícolas: bases agrônômicas**. São Paulo: Editerra Editorial Ltda., 1988. 303 p.

MIRANDA, F. R.; FREITAS, J. A. D.; MONTENEGRO, A. A. T.; CRISÓSTOMO, L. A. Distribuição das Raízes do Coqueiro-Anão Verde para o Manejo da Irrigação e a Aplicação de Fertilizantes. **Circular Técnica 16**. Embrapa Agroindústria Tropical. Fortaleza, Dezembro de 2003.

MIRANDA, F. R.; LIMA, R. N.; FREITAS, J. A. D.; MAIA, A. H. N.; SANTANA, M. G. S. Comportamento reprodutivo e qualidade da água dos frutos do coqueiro-anão irrigado no Vale do Curu, Ceará. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento**, 32, 28 p. Embrapa Agroindústria Tropical, Fortaleza: 2008.

PIZARRO, F. **Drenaje agrícola y recuperacion de suelos salinos**. Madrid: Editora Agrícola Española, 1978. 521p.

RAMOS, V. H. V.; PINTO, A. C. Q.; ARAGÃO, W. M.; GOMES, A. C.; JUNQUEIRA, N. T. V.; LOBATO, E.; OLIVEIRA, M. A. S. **Comportamento de genótipos de coqueiro anão e híbrido no Distrito Federal**. Boletim de pesquisa e desenvolvimento. Embrapa Cerrados. Planaltina Distrito Federal, 2003.

SILVA, R. A.; CAVALCANTE, L. F.; HOLANDA, J. S.; PAES, R. A.; MADALENA, J. A. S. Crescimento e produção do coqueiro anão verde fertirrigado com nitrogênio e potássio. **Caatinga** (Mossoró), v.22, n.1, p.161-167, 2009.

SOUSA, C. H. C.; SILVA, F. L. B.; LACERDA, C. F.; COSTA, R. N. T.; GHEYI, H. R. Instalação de um sistema de drenagem subterrânea em um solo salino-sódico cultivado com coco em pentecoste – Ceará. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v.5, nº. 1, p.16–23, 2011.

VICENTE, A. S. C. **Manejo da irrigação do coqueiro nordeste paraense e Ilha do Marajó: parte 1 - uso do tensiômetro**. 2001. Disponível em: www.amazoniairrigacao.com.br. Acesso em: 04 de outubro de 2011.

YUSUF, M.; VARADAN, K. M. **Water management studies on coconut in India**. In: NAIR, M. K.; KHAN, H. M.; GOPALASUNDARAM, P.; BHASKAARARAO E. V. V. (Ed.). *Advances in coconut research and development*. New Delhi: IBH, 1993. p.337-346.

CAPÍTULO 3: Produtividade de sistemas de rotação algodão/ feijão-de-corda e girassol/ feijão-de-corda durante o processo de recuperação de um solo salino-sódico

RESUMO

Objetivou-se avaliar o uso de subsolagem, gesso agrícola e matéria orgânica, associados ao cultivo de algodão, girassol e feijão-de-corda em sistemas de rotação, visando à recuperação e o aproveitamento de um solo salino sódico. Os tratamentos foram dispostos em um delineamento em blocos casualizados, em parcelas subdivididas, com quatro repetições, durante dois ciclos. As parcelas foram formadas pelos tratamentos: T1. Subsolagem (S); T2. S + 20 Mg ha⁻¹ de gesso; T3. S + 40 Mg ha⁻¹ de matéria orgânica; T4. S + 10 Mg ha⁻¹ de gesso + 20 Mg ha⁻¹ de matéria orgânica; T5. S + 20 Mg ha⁻¹ de gesso + 40 Mg ha⁻¹ de matéria orgânica, e as subparcelas corresponderam às rotações culturais algodão-feijão-de-corda (AL/FC) e girassol-feijão-de-corda (GI/FC). O emprego dos corretivos contribuiu para a diminuição dos níveis de salinidade e sodicidade do solo, e para o aumento da produtividade do girassol e do feijão-de-corda. No ano de 2011, em comparação com 2010, observou-se aumento médio da produtividade do girassol (16%) e do feijão-de-corda (51%) nos tratamentos que receberam aplicação de melhoradores químicos e orgânicos, sendo um indicativo da recuperação progressiva do solo.

Palavras-Chave: Salinidade. Sodicidade, *Gossypium hirsutum*. *Helianthus annuus*. *Vigna unguiculata*.

CHAPTER 3: Productivity of rotation systems cotton/cowpea and sunflower/cowpea during the reclamation process of a saline-sodic soil

ABSTRACT

This study aimed to evaluate the use of subsoiling, gypsum and organic matter associated with the cultivation of cotton, sunflower and bean-rope rotation systems, focusing on the recovery and use of a saline-sodic soil. Treatments were arranged in a randomized block design in a split plot design with four replications during two cycles. The plots were formed by the treatments: T1. Subsoiling (S), T2. S + 20 Mg ha⁻¹ gypsum, T3. S + 40 Mg ha⁻¹ of organic matter; T4. S + 10 Mg ha⁻¹ gypsum + 20 Mg ha⁻¹ of organic matter; T5. S + 20 Mg ha⁻¹ gypsum + 40 Mg ha⁻¹ of organic matter and the subplots correspond to cultural revolutions cotton-cowpea (AL / HR) and sunflower-cowpea (GI / FC). The use of corrective contributed to the decreased levels of salinity and sodicity, and to increase the productivity of sunflower and bean-string. In the year 2011 compared with 2010, there was an average increase in productivity of sunflower (16%) and string-bean (51%) in treatments with application of chemical and organic enhancers, being indicative of the recovery progressive soil.

Keywords: Salinity. Sodidity. *Gossypium hirsutum*. *Helianthus annuus*. *Vigna unguiculata*.

3.1. INTRODUÇÃO

Os problemas de salinização e sodificação do solo estão entre as principais causas de degradação ambiental (LV et al., 2008; ASHRAF, 2009; SOUSA et al., 2011) e é um dos mais crescentes em todo o mundo, principalmente em regiões áridas e semiáridas. Decorrentes, principalmente, de condições climáticas desfavoráveis e do manejo inadequado da irrigação (LEAL et al., 2008). De acordo com Smedema e Shiaty (2002), mesmo em uma visão conservacionista, de três a cinco toneladas de sais são adicionadas por hectare irrigado por ano, nas regiões secas do globo.

Os sais que predominam nas regiões áridas e semiáridas são formados pelos cátions cálcio, magnésio, sódio e potássio e pelos ânions cloreto, sulfato, carbonato e bicarbonato. Dependendo das concentrações totais de sais e da distribuição entre os cátions e ânions citados, os solos salinos formados podem apresentar distintas características em termos de morfologia e propriedades físico-químicas, refletindo sobre seu potencial produtivo. Este fato evidencia-se, principalmente, pela predominância de sais de sódio no meio (MIRANDA *et al.*, 2008).

Os solos salino-sódicos e sódicos, por terem elevados níveis de sais solúveis e/ou sódio trocável, são passíveis de reduzir significativamente o desenvolvimento e, em consequência, a produtividade das culturas (SILVEIRA *et al.*, 2008; BARROS *et al.*, 2009). Esses solos não devem ser recuperados apenas com a lavagem. Nestes tipos de solos há necessidade da aplicação de corretivos químicos a base de cálcio ou não, mas que através das reações produza cálcio, com a finalidade de substituir o sódio do complexo de troca e transferi-lo para a solução do solo. Ao ser transferido para a solução do solo o sódio encontra-se na forma solúvel, quando então se efetua a lavagem para promover a sua lixiviação (RIBEIRO; BARROS; FREIRE, 2009; MIRANDA *et al.*, 2011). Nesse sentido, a recuperação dos solos sódicos e salino-sódicos tem como finalidade transformá-los em solos salinos e em seguida, em solos normais ou não salinos, isto é, que não ofereçam riscos de sais ao ponto de prejudicarem severamente a germinação das sementes, o crescimento e a produção das culturas (LEITE *et al.*, 2007).

Vários corretivos fornecem alternativas para recuperação de solos com excesso de sódio trocável. Corretivos como o 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 (MELO *et al.*, 2008).

Por outro lado, além de condicionadores ou melhoradores químicos, a exemplo do gesso agrícola, tem sido recomendada a incorporação de materiais orgânicos, como esterco de curral, adubo verde (CAVALCANTI *et al.*, 2010), composto de lixo urbano (GALBIATTI *et al.*, 2007) e resíduo de destilarias para a melhoria da permeabilidade de solos sódicos e salino-sódicos. De acordo com Murtaza, Ghafoor e Qadir, (2006) o uso de matéria orgânica e a utilização de cultivos de leguminosas têm apresentado, também, bons resultados, tanto para o desenvolvimento das culturas como para o processo de melhoramento das condições físico-hídricas destes solos.

A adição de esterco, resíduos de colheitas e resíduos industriais orgânicos no solo, bem como o uso de subsolagem, pode melhorar diversos aspectos de um solo degradado por sais e sódio, como por exemplo a infiltração de água no solo (CAVALCANTI *et al.*, 2010). Por outro lado, a utilização de sistemas de rotação de culturas oferece melhorias nas propriedades do solo, sendo indicados também para ambientes salinos, particularmente quando se utilizam culturas com diferentes graus de tolerância à salinidade (MURTAZA; GHAFUOR; QADIR, 2006; BEZERRA *et al.*, 2010; LACERDA *et al.*, 2011).

O trabalho objetivou estudar o uso de subsolagem, gesso agrícola e matéria orgânica, associados ao cultivo de algodão, girassol e feijão-de-corda em sistemas de rotação, visando à recuperação e ao aproveitamento de um solo salino-sódico.

3.2. MATERIAL E MÉTODOS

3.2.1. Localização e caracterização da área (idem ao Capítulo 2)

3.2.2. Caracterização do solo da área

O solo da área do experimento segundo Embrapa (2006) é classificado como Neossolo Flúvico apresentando os seguintes atributos físico-químicos e hídricos na profundidade de 0 a 30 cm, antes do experimento (Tabela 3.1).

Tabela 3.1. Atributos físico-químicos e hídricos do solo antes da instalação do experimento na profundidade de 0 a 30 cm

Atributos	Unidades	Valores
Classe textural		Franco-arenosa
Ds	kg dm ⁻³	1,41
Dp	kg dm ⁻³	2,6
Uv a 0,033 MPa	m ³ m ⁻³	0,22
Uv a 1,5 MPa	m ³ m ⁻³	0,09
Ca ²⁺	cmol _c dm ⁻³	5,50
Mg ²⁺	cmol _c dm ⁻³	1,60
K ⁺	cmol _c dm ⁻³	0,18
Na ⁺	cmol _c dm ⁻³	3,44
H ⁺ + Al ³⁺	cmol _c dm ⁻³	0,0
pH em água (1:2,5)		8,0
CE _{1:1}	dS m ⁻¹	4,0
PST	(%)	32,1

Ds – densidade do solo; Dp – densidade de partículas; Uv – umidade volumétrica; CE_{1:1} – condutividade elétrica do solo medida no extrato 1:1 (solo:água); PST – percentagem de sódio trocável

3.2.3. Delineamento experimental e tratamentos

O delineamento experimental adotado foi em blocos casualizados, em parcelas subsubdivididas, com quatro repetições. As parcelas foram formadas pelos tratamentos com subsolagem, gesso e esterco, e as subparcelas corresponderam às rotações culturais algodão-feijão-de-corda (AL/FC) e girassol-feijão-de-corda (GI/FC) e as subsubparcelas corresponderam às coletas realizadas ao longo do ciclo do algodão e girassol. Para o cultivo do feijão-de-corda foi realizada apenas a coleta final, portanto, o delineamento foi considerado como parcelas subdivididas.

Toda a área do experimento recebeu uma subsolagem com o propósito de romper a camada retardadora ao fluxo de água no perfil do solo. Os tratamentos nas parcelas foram:

- T1. Testemunha - apenas subsolagem, (S);
- T2. Subsolagem + 20 Mg ha⁻¹ de gesso, (SG₂₀);
- T3. Subsolagem + 40 Mg ha⁻¹ de matéria orgânica (SMO₄₀);
- T4. Subsolagem + 10 Mg ha⁻¹ de gesso + 20 Mg ha⁻¹ de matéria orgânica, (SG₁₀MO₂₀);
- T5. Subsolagem + 20 Mg ha⁻¹ de gesso + 40 Mg ha⁻¹ de matéria orgânica, (SG₂₀MO₄₀).

A aplicação do gesso e da matéria orgânica foi realizada após o preparo da área, sendo que as doses de gesso dos tratamentos T2 (SG₂₀) e T5 (SG₂₀MO₄₀) foram calculadas de acordo com Pizarro (1978) apud CAVALCANTE *et al.*, (2010), com base nos dados da Tabela 3.1 e considerando uma profundidade de 60 cm. A dose do gesso no tratamento T4 (SG₁₀MO₂₀) correspondeu a 50% da necessidade de gesso. As aplicações do gesso e da matéria orgânica foram feitas a lanco logo após a instalação do sistema de drenagem e a incorporação foi feita com a utilização de grade aradora (Figura 3.1).



Figura 3.1. Distribuição de gesso (A), esterco (B), gesso e esterco (C) nos tratamentos T2, T3 e T4 respectivamente e incorporação ao solo (D)

Foto: SOUSA, C. H C. (2009)

Cada parcela possuía as dimensões de 6,4 m de largura por 20 m, correspondendo a uma área de 128 m². Cada subparcela possuía as dimensões de 6,4 m de largura por 10 m comprimento, correspondendo a uma área de 64 m², contendo cada uma oito fileiras de plantio de 10 m.

3.2.4. Cultivos irrigados na estação seca (algodão e girassol)

O primeiro cultivo ocorreu de setembro 2009 a janeiro de 2010 utilizando as seguintes espécies: algodão (*Gossipium hirsutum* L.) cv. BRS 187 8H e girassol (*Helianthus annuus* L) cv. Catissol (Figura 3.2). O segundo cultivo ocorreu de setembro 2010 a janeiro de 2011, utilizando as mesmas espécies. O plantio foi realizado com espaçamento de 0,8 m entre sulcos para as duas espécies, e o espaçamento de 0,3 m entre plantas.



Figura 3.2. Girassol tratamento T4 aos 60 (A) e algodão tratamento T3 aos 105 dias após o plantio (B).

Foto: SOUSA, C. H. C. (2010)

A irrigação foi realizada através de sulcos abertos, sendo que nos cultivos das estações secas (algodão e girassol), a frequência foi semanal de acordo com disponibilidade de água do Perímetro, utilizando-se como critério do tempo de reposição, a metade do tempo de avanço da água no sulco. A água utilizada na irrigação era proveniente do Açude General Sampaio, distribuída no Perímetro através de um canal secundário, sendo as características químicas apresentadas na Tabela 3.2.

Tabela 3.2. Atributos da água do canal utilizada durante o experimento

Atributos	Unidade	Valores
CEa	dS m ⁻¹	0,65
pH		7,10
Ca ²⁺	mmol _c L ⁻¹	1,29
Mg ²⁺	mmol _c L ⁻¹	1,82
Na ⁺	mmol _c L ⁻¹	2,29
HCO ₃ ⁻	mmol _c L ⁻¹	2,01
Cl ⁻	mmol _c L ⁻¹	3,52
RAS	(mmol L ⁻¹) ^{1/2}	1,82

CEa – condutividade elétrica da água de irrigação; RAS – Razão de adsorção

A adubação das plantas seguiu a recomendação de Fernandes (1993) sendo as quantidades necessárias de macronutrientes às seguintes: 20 kg ha⁻¹ de nitrogênio (N), 50 kg

ha⁻¹ de fósforo (P) e 50 kg ha⁻¹ de potássio (K), sendo parte aplicada por ocasião do plantio e o restante em cobertura. Os fertilizantes usados foram a uréia, o superfosfato simples e o cloreto de potássio. Também por ocasião do plantio aplicou-se ainda 10 kg ha⁻¹ de micronutrientes, na forma comercial do fertilizante mineral FTE BR-12 (9% Zn; 1,8% B; 0,85% Cu; 3% Fe; 2,1% Mn; e 0,10% Mo).

O controle de plantas daninhas foi realizado manualmente e com aplicações de herbicidas utilizando-se as misturas diuron+alachlor ou diuron+metholachlor, aplicados em pré-emergência da cultura nas doses recomendadas pelos fabricantes. Os tratamentos fitossanitários quando necessários foram feitos seguindo as recomendações de Leite, Brighenti e Castro (2005), mediante a realização pulverizações com os inseticidas orthene 750 br e vertimec[®].

Ao final do ciclo de cada espécie, foram colhidas 10 plantas por parcela para avaliação da produtividade do algodão (grãos e pluma) e girassol (aquênios) (Figura 3.3).



Figura 3.3. Momento das coletas no campo para determinação da produtividade do girassol tratamento T1 (A) e algodão tratamento T3 (B)
Foto: SOUSA, C. H C. (2010)

3.2.5. Cultivo do feijão-de-corda durante a estação chuvosa

Durante as estações chuvosas de 2010 e 2011 foi cultivado o feijão-de-corda (*Vigna unguiculata* L. Walp.), cultivar EPACE 10, utilizando-se o mesmo espaçamento entre linhas e entre plantas do algodão e girassol (0,8 x 0,3 m). As parcelas e subparcelas possuíam as mesmas dimensões do girassol e do algodão.

A adubação seguiu a recomendação da literatura (FERNANDES, 1993), sendo utilizadas doses de 20, 60, 30 e 10 kg ha⁻¹ respectivamente para N, P₂O₅, K₂O e FTE (micronutrientes).

Foram utilizados os agrotóxicos orthene na proporção de 1,0 mL por litro de água e vertimec na proporção de 1,5 mL por litro de água, para o controle do pulgão e da larva minadora, respectivamente, e o acaricida/fungicida Kumulus S (3 g L⁻¹) para o controle do ácaro, com pulverizações através de uma bomba costal de 20 L com bico tipo cone cheio. Para o controle de plantas daninhas foram realizadas capinas manuais.

Após a colheita principal, cerca de 70 dias após a semeadura, foi realizada a avaliação da produtividade e em seguida a incorporação do material vegetal ao solo (Figura 3.4).



Figura 3.4. Feijão-de-corda tratamento T3 aos 15 (A) e 60 dias após o plantio (B)
Foto: SOUSA, C. H C. (2010)

3.2.6. Coleta e análises de solo e água drenada

No início (agosto de 2009), e após os cultivos do algodão e girassol e do feijão de corda (julho de 2010), e após o final do segundo ciclo (julho de 2011) foram coletadas amostras de solo (compostas e representativas dos diferentes tratamentos), retiradas na profundidade de 0 a 30 cm e levadas ao Laboratório de Análise de Solos e Plantas do Departamento de Ciências do Solo/UFC para realização de análises químicas (Silva, 1999) (Figura 3.5).



Figura 3.5. Coleta de amostras de solo após os cultivos de algodão e girassol em julho de 2010

Foto: SOUSA, C. H C. (2010)

Durante o experimento foram realizadas quatro coletas da água dos drenos, duas em 2010 (janeiro e julho) e duas em 2011 (janeiro e junho) e levadas ao Laboratório de Água, Solo e Planta do Departamento de Engenharia Agrícola/UFC para a realização das análises.

3.2.7. Análises Estatísticas

Os resultados das variáveis foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey com $P < 0,05$, utilizando-se os programas SAEG (UFV, 2000) e ASSISTAT 7.6 Beta (SILVA & AZEVEDO, 2009).

3.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.3.1. Atributos químicos do solo e da água drenada

Os tratamentos afetaram os atributos químicos do solo em nível de $P < 0,05$ de probabilidade (Tabela 3.3). Por outro lado, não foram observadas diferenças nos atributos do solo quando se comparam os sistemas de rotação de cultura estabelecidos com algodão/feijão-de-corda e girassol/feijão-de-corda, no ano de 2010 ($P > 0,05$), porém verificou-se interação entre os fatores nas avaliações realizadas em 2011 ($P < 0,05$), sugerindo-se que no médio ou longo prazo as alterações nos atributos químicos do solo não dependem apenas dos produtos aplicados, mas também dos tipos de culturas estabelecidas na área.

Na comparação entre os valores de $CE_{1:1}$ medidos antes do início do estudo ($4,0 \text{ dS m}^{-1}$; Tabela 3.1) e em 2010, quase um ano após (Tabela 3.3), observa-se que houveram reduções em todos os tratamentos aplicados como podem-se destacar os tratamentos T1 (S) e T2 (SG_{20}) da rotação AL/FC e T5 ($SG_{20}MO_{40}$) da rotação GI/FC que apresentaram reduções de 83,25%, 79,75% e 76%, respectivamente. Verifica-se também que os valores de $CE_{1:1}$ não diferiram entre os tratamentos de recuperação no ano de 2010 (Tabela 3.3).

Tabela 3.3. Valores médios de condutividade elétrica no extrato 1:1 ($CE_{1:1}$), percentagem do sódio trocável (PST) e teores de cálcio (Ca^{2+}) na camada de 0 a 30 cm, sob diferentes tratamentos de recuperação e sistemas de rotação cultural algodão/feijão-de-corda (AL/FC) e girassol/feijão-de-corda (GI/FC)

Tratamentos*	$CE_{1:1}$ (dS m ⁻¹)		PST (%)		Ca (cmol _c dm ⁻³)	
	AL/FC	GI/FC	AL/FC	GI/FC	AL/FC	GI/FC
Julho de 2010 (após o primeiro ciclo de rotação de culturas)						
T1	0,67 aA **	1,09 aA	23,25 aA	23,97 aA	6,85 bA	5,95 aA
T2	0,81 aA	1,04 aA	8,65 bA	10,90 abA	13,40 aA	8,60 aA
T3	0,93 aA	1,06 aA	15,77 abA	16,50 abA	10,30 abA	6,25 aA
T4	1,06 aA	1,17 aA	13,00 abA	7,05 bA	12,32 aA	7,12 aA
T5	0,92 aA	0,96 aA	9,72 abA	9,55 bA	13,00 aA	7,32 aA
Julho de 2011 (após o segundo ciclo de rotação de culturas)						
T1	0,44 bA	0,42 cdA	19,46 aA	18,21 aA	7,76 bA	7,60 bA
T2	0,38 bA	0,53 cA	5,09 bA	6,28 bA	7,20 bB	14,92 aA
T3	0,98 aA	1,11 aA	18,83 aA	17,32 aA	10,50 abA	11,15 abA
T4	0,80 aA	0,29 dB	14,69 aA	7,28 bB	13,06 aA	10,45 bA
T5	0,29 bB	0,76 bA	5,29 bB	17,86 aA	13,26 aA	9,6 bB

*T1. Apenas subsolagem, (S); T2. Subsolagem + 20 Mg ha⁻¹ de gesso, (SG₂₀); T3. Subsolagem + 40 Mg ha⁻¹ de matéria orgânica (SMO₄₀); T4. Subsolagem + 10 Mg ha⁻¹ de gesso + 20 Mg ha⁻¹ de matéria orgânica, (SG₁₀MO₂₀); T5. Subsolagem + 20 Mg ha⁻¹ de gesso + 40 Mg ha⁻¹ de matéria orgânica, (SG₂₀MO₄₀); **Médias seguidas das mesmas letras minúsculas na coluna e das mesmas letras maiúsculas na linha, para o mesmo ano, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, em nível de 0,05 de probabilidade

Com exceção do tratamento T3 - (SMO₄₀), os valores de $CE_{1:1}$ continuaram decrescendo em 2011 com destaque para os tratamentos T5 (SG₂₀MO₄₀) da rotação AL/FC e T4 (SG₁₀MO₂₀) da rotação GI/FC, que apresentaram reduções de 68,47% e 75,21%, respectivamente, quando comparados aos valores de 2010 (Tabela 3.3). As precipitações ocorridas nos anos de 2010 (413 mm) e 2011 (1066 mm) juntamente com as práticas de preparo do solo (subsolagem, gradagem) empregadas no início do experimento e a instalação do sistema de drenagem subterrâneo também contribuíram bastante para acelerar o processo de diluição e eliminação dos sais existentes no solo como pode ser confirmado pelo tratamento testemunha nos dois anos de rotação cultural. Quanto à PST do solo também se verificou diminuição em relação ao valor inicial (32,1%), sendo que os tratamentos T2 (SG₂₀), T3 (SOM₄₀) e T4 (SG₁₀MO₂₀) se destacaram na rotação AL/FC, enquanto T4 (SG₁₀MO₂₀), T5 (SG₂₀MO₄₀) e T2 (SG₂₀) na rotação GI/FC, todos apresentando valores abaixo de 15%, valor este considerado como limite entre um solo sódico e não sódico (Tabela 3.3).

Comparando-se os valores de $CE_{1:1}$ e PST ao final dos dois ciclos de rotação cultural, verifica-se que os valores continuaram caindo em 2011, em relação a 2010, exceto no tratamento em que se aplicou apenas matéria orgânica (T3) (Tabela 3.2). É importante salientar que os teores de sais do esterco bovino podem ter influenciado os resultados onde se aplicou apenas esse insumo. De maneira geral, os tratamentos que receberam aplicação de matéria orgânica, só foram mais eficientes na redução da salinidade, e principalmente da sodicidade, quando associados ao gesso. Cavalcante *et al.* (2007) observaram que a matéria orgânica em forma de esterco bovino aplicada ao solo em quantidades crescentes influenciou na elevação da salinidade ao longo da profundidade. A percentagem de sódio trocável (PST) apresentou reduções significativas em relação ao valor inicial (Tabela 3.1), sobretudo para os tratamentos com gesso (Tabela 3.3), evidenciando muito mais o papel dos melhoradores químicos e orgânicos na redução da PST do que na condutividade elétrica do solo. De modo geral, o tratamento T2 (SG₂₀) mostrou-se mais eficiente para promover a redução do sódio trocável do solo reduzindo em cerca de 84% os valores de PST, comparando-se os valores iniciais com os observados ao final dos dois ciclos de rotação cultural. De acordo com Araújo *et al.* (2011), a aplicação de 20 Mg ha⁻¹ de gesso e 40 Mg ha⁻¹ de matéria orgânica promoveu já no primeiro ano, redução da PST, inicialmente de um valor médio superior a 50% para um valor convergente de 2%. A incorporação do gesso resulta em melhorias de natureza química, comprovadas pela diminuição da salinidade e sodicidade dos solos e de natureza física, tais como aumento da macroporosidade e da condutividade hidráulica do solo. Tavares Filho *et al.* (2012) também observaram melhorias físicas e químicas quando utilizaram gesso na correção de solos salino sódicos do Perímetro Irrigado Moxotó.

Comparando-se os tipos de rotação cultural nos dois ciclos de produção, verifica-se que os tratamentos T4 e T5 foram os únicos que apresentaram efeitos nos atributos do solo quanto ao tipo de espécie utilizada como é mostrado na Tabela 3.3. De maneira geral, esses resultados podem ser decorrentes da melhoria na permeabilidade do solo em função dos cultivos na área, associados à decomposição da matéria orgânica constituída pelas raízes juntamente com a incorporação dos restos culturais do feijão-de-corda, ocorrido nos intervalos de cultivos do algodão e girassol Cavalcante *et al.* (2010). Sadiq *et al.* (2003) também observaram melhorias nos atributos físicos e químicos do solo utilizando o gesso na correção de um solo salino-sódico, cultivado com variedades de algodão.

Observando os teores médios de Na⁺ e Ca²⁺ nos dois anos de estudo, verificou-se que a aplicação do gesso tanto com a subsolagem como associado à matéria orgânica promoveu redução nos valores de sódio do solo como pode ser comprovado pelos valores de

PST dos tratamentos com gesso (Tabela 3.3). Chi *et al.* (2012) também encontraram resultados semelhantes quando incorporaram gesso em solos salino-sódicos.

Para a concentração de cálcio verifica-se situação inversa à do sódio, sendo os maiores valores encontrados para os tratamentos que receberam aplicações de gesso e matéria orgânica (Tabela 3.3). Os tratamentos T5 (SG₂₀MO₄₀) da rotação AL/FC com 13,26 cmol_c dm⁻³ e T2 (SG₂₀) da rotação GI/FC com 14,92 cmol_c dm⁻³ em 2011 foram os que apresentaram os maiores valores. Os resultados encontrados concordam com Saldanha *et al.* (2007) que mostraram que a aplicação das doses de gesso provoca aumento nos teores de cálcio nas camadas do solo. Os valores obtidos para cálcio trocável indicam que a quantidade dos corretivos aplicados foi adequada para aumentar os níveis de cálcio em todos os tratamentos.

A análise da água dos drenos laterais demonstrou o efeito benéfico, sobretudo dos tratamentos contendo gesso na promoção da lixiviação do Na⁺, tendo em vista que suas concentrações foram significativamente aumentadas (Tabela 3.4), fato também confirmado pela redução dos valores de PST apresentados na Tabela 3.3. As maiores concentrações de Na⁺ foram observadas nas águas dos drenos que corresponderam aos tratamentos T2 (SG₂₀) e T5 (SG₂₀MO₄₀), que continham 20 Mg ha⁻¹ de gesso e as menores concentrações desse íon foram observadas no tratamento sem a aplicação dos corretivos. A concentração de Ca²⁺, foi maior também nas águas dos drenos que corresponderam aos tratamentos com aplicação de gesso..Praticamente não se observou diferenças em relação ao K⁺. Outro aspecto importante é que as concentrações de Na⁺ foram também bem superiores às observadas para K⁺ e Ca²⁺, refletindo a existência do problema de sodicidade na área.

Tabela 3.4. Concentrações de Na⁺, K⁺ e Ca²⁺ na água dos drenos sob diferentes tratamentos de recuperação

Tratamentos*	Coletas				Média
	1	2	3	4	
Na (mmol_c L⁻¹)					
T1	6,50	9,43	6,12	9,17	7,80 b**
T2	24,50	24,72	18,40	22,50	22,53 a
T3	12,42	9,61	8,27	11,69	10,50 b
T4	7,99	16,07	9,11	13,79	11,74 b
T5	9,93	22,02	13,06	11,14	14,03 b
Ca (mmol_c L⁻¹)					
T1	0,14	0,19	0,08	0,11	0,12 c
T2	0,19	0,37	0,33	0,24	0,28 a
T3	0,13	0,16	0,10	0,05	0,10 c
T4	0,20	0,28	0,11	0,12	0,17 bc
T5	0,29	0,42	0,30	0,15	0,28 a
K (mmol_c L⁻¹)					
T1	0,11	0,26	0,17	0,17	0,17 a
T2	0,14	0,21	0,12	0,12	0,14 a
T3	0,09	0,39	0,19	0,19	0,21 a
T4	0,08	0,21	0,15	0,15	0,15 a
T5	0,16	0,20	0,13	0,13	0,15 a

* para identificação dos tratamentos ver Tabela 2; **Médias seguidas das mesmas letras na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, ao nível de 0,05 de probabilidade.

A incorporação do gesso nesse solo revelou maior eficiência na correção da salinidade e da sodicidade e que tal superioridade foi consequência da maior solubilização do gesso incorporado e, portanto, do aumento na eficiência de substituição do sódio trocável. Esses resultados concordam com Santos *et al.* (2005) quando tratam da eficiência de corretivos contendo gesso na lixiviação do sódio do solo.

3.3.2. Rendimento do algodão, girassol e feijão-de-corda

A Tabela 3.5 apresenta os rendimentos de grãos das três espécies nos dois ciclos de produção. Os tratamentos mecânicos e químicos utilizados não afetaram o rendimento do

algodão nos dois ciclos de rotação cultural ($P > 0,05$), porém foram observados efeitos significativos ($P < 0,05$) para o feijão-de-corda nos dois cultivos e para o girassol no ciclo 2010/2011.

A produtividade de sementes de algodão não sofreu influência dos tratamentos de recuperação (Tabela 3.5), resultado que diverge dos observados por Sadiq *et al.* (2003) que utilizando gesso na correção de um solo salino-sódico, cultivado com variedades de algodão, verificaram aumento significativo na porcentagem de germinação e no rendimento de capulhos de algodão em comparação ao tratamento sem adição de gesso. A não ocorrência de diferença de rendimento entre os tratamentos aplicados no presente estudo pode ser explicada pelo fato do algodoeiro, segundo Ayers e Westcot (1999), ser considerado como tolerante à salinidade, sendo capaz de expressar todo seu potencial produtivo com um valor de salinidade limiar de $7,7 \text{ dS m}^{-1}$ do extrato de saturação do solo. No presente estudo também não se verificaram diferenças em termos de produção de pluma nos dois ciclos, com os valores variando de $522,6$ a $629,8 \text{ kg ha}^{-1}$.

As produtividades do girassol também não sofreram efeitos significativos dos tratamentos no ano de 2009/2010 (Tabela 3.5). No entanto, para o ano 2010/2011 foram observados efeitos significativos para os tratamentos, com as maiores produtividades observadas naqueles que receberam aplicações dos corretivos. Em termos percentuais o tratamento T5 - ($\text{SG}_{20}\text{MO}_{40}$) foi o que apresentou as maiores produtividades nos dois anos de cultivo quando comparadas aos demais, chegando a produzir aproximadamente 30% a mais que o tratamento testemunha T1 (S). De acordo com Batista *et al.* (2002) a cultura do girassol tem sua produtividade máxima a uma CEEs de até $5,3 \text{ dS m}^{-1}$. Morais *et al.* (2011) também observaram resultados semelhantes.

Tabela 3.5. Produtividade de sementes de algodão, girassol e feijão-de-corda sob diferentes tratamentos de recuperação e sistemas de rotação cultural, durante dois ciclos de produção

Tratamentos*	Produtividade (kg ha ⁻¹)			
	Algodão		Girassol	
	2009/2010	2010/2011	2009/2010	2010/2011
T1	1469,45 a**	1285,15 a	1991,25 a	1625,93 b
T2	1175,78 a	1415,04 a	2092,50 a	2561,62 ab
T3	1326,76 a	1319,33 a	2145,00 a	2466,75 ab
T4	1267,66 a	1421,87 a	2175,00 a	2501,25 ab
T5	1391,25 a	1360,35 a	2647,50 a	3004,62 a
	Feijão-de-corda		Feijão-de-corda	
T1	707,22 b	646,54 b	715,09 b	641,07 b
T2	836,39 b	1320,00 a	649,07 b	1321,00 a
T3	573,35 b	1267,93 a	898,08 b	1202,40 a
T4	696,91 b	1291,25 a	736,65 b	1291,26 a
T5	1480,91a	1276,99 a	1409,82 a	1276,78 a

* para identificação dos tratamentos ver Tabela 2; **Médias seguidas das mesmas letras nas colunas, no mesmo ano e para cada espécie, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, em nível de 0,05 de probabilidade.

As produtividades do feijão-de-corda no ano de 2009/2010 dos tratamentos de T1 a T4 não se diferenciaram estatisticamente (Tabela 3.5). Porém, o tratamento T5 - (SG20MO40) resultou em maior produtividade, chegando a produzir o dobro quando comparado aos demais tratamentos. No ano de 2010/2011 o tratamento T1 (S) que recebeu apenas subsolagem apresentou menor produtividade em relação aos demais que não diferiram entre si. Araújo *et al.* (2011) aplicando matéria orgânica e gesso, obtiveram produtividade do feijão-de-corda cv. Epace 11, superior em 120% à produtividade sem o uso desses melhoradores, e inferior em apenas 18% à produtividade da cultura em solos sem problemas de sais no Perímetro Irrigado Curu-Pentecoste. Santos *et al.* (2009) trabalhando em área sem problema de salinidade no Cariri paraibano obteve produtividade de grãos de 1.230 kg ha⁻¹ com a cv. EPACE 10.

Comparando-se a produtividade média das culturas nos dois ciclos de rotação, verifica-se que praticamente não houve diferenças para a cultura do algodão (Tabela 3.5). No entanto, para a cultura do girassol a média das produtividades no ciclo 2010/2011 foi incrementada em cerca de 16%, em relação ao ciclo anterior, para os tratamentos que receberam aplicação de gesso e, ou matéria orgânica. Apenas no tratamento testemunha é que se observou redução na

produtividade. Para o feijão-de-corda também se verificou aumentos de produtividade no segundo ciclo, sendo que os valores nos tratamentos que receberam aplicação de melhoradores apresentaram incremento médio de 51% na produtividade da cultura em 2010/2011, em comparação ao ciclo 2009/2010. Esses aumentos da produtividade no segundo ciclo são indicativos de recuperação progressiva do solo, principalmente nos tratamentos em que foram utilizados gesso e matéria orgânica.

3.4. CONCLUSÕES

O gesso e o esterco bovino contribuíram para a redução dos níveis de salinidade e de sodicidade do solo, sendo seus efeitos mais evidenciados na redução da sodicidade, com o gesso se mostrando mais eficiente nesse processo;

As maiores doses de gesso e esterco bovino promoveram a maior produtividade do girassol e do feijão-de-corda. As produtividades destas duas culturas no segundo ciclo indicaram uma recuperação progressiva do solo

Os resultados do presente estudo demonstram que aplicações de gesso e produtos orgânicos, aliadas ao cultivo em rotação de espécies tolerantes ou moderadamente tolerantes, podem viabilizar tecnicamente a recuperação de solos afetados por sais.

3.5. REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, A. P. B. *et al.* Análise econômica do processo de recuperação de um solo sódico no Perímetro Irrigado Curu-Pentecoste, CE. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, n.4, p. 377–382, 2011.
- ASHRAF, M. Biotechnological approach of improving plant salt tolerance using antioxidants as markers. **Biotechnology Advances**, v.27, p.84-93, 2009.
- AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. **A qualidade da água na agricultura**. 7 ed. Campina Grande: UFPB, 1999, 218 p.
- BARROS, M. DE F. C. *et al.* 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, p.77-82, 2009.
- BATISTA, M. J. *et al.* **Drenagem como instrumento de dessalinização e prevenção da salinização de solos**. 2. ed., rev. e ampliada. Brasília: CODEVASF, 2002. 216p.
- BEZERRA, A. K. P. *et al.* Rotação cultural feijão-de-corda/milho utilizando-se águas de salinidades diferentes. **Ciência Rural**, v.40, n.5, p.1075-1082, 2010.
- CAVALCANTE, L. F. *et al.* Recuperação de solos afetados por sais. *In*: GHEYI, H. R.; DIAS, N. S.; LACERDA, C. F. **Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados**. Fortaleza: INCTSal, 2010. p.425-448.
- CHI, C. M. *et al.* Reclamation of saline-sodic soil properties and improvement of rice (*Oriza sativa* L.) growth and yield using desulfurized gypsum in the west of Songnen Plain, northeast China. **Geoderma**, v.187–188, p.24–30, 2012.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 412 p.
- GALBIATTI, J. A. *et al.* Formação de mudas de eucalipto com utilização de lixo orgânico e níveis de irrigação calculados por dois métodos. **Engenharia Agrícola**, v. 27, n. 2, p. 445-455, 2007.
- KÖPPEN, N. W. **Climatologia: Con un estudio de los climas de la tierra**. México: Fondo de Cultura Econômica, 1948. 478p.
- LACERDA, C. F. *et al.* Soil salinization and maize and cowpea yield in the crop rotation system using saline waters. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 31, p. 663-675, 2011.
- LEAL, I. G. *et al.* Fitorremediação de solo salino sódico por *Atriplex nummularia* e gesso de jazida. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.1065-1072, 2008.
- LEITE, E. M. *et al.* Correção da sodicidade de dois solos irrigados em resposta à aplicação de gesso agrícola. **Irriga**, v. 12, n. 2, p. 168-176, 2007.

- LV, S. *et al.* Over expression of an H⁺-PPase gene from *Theillungiella halophila* in cotton enhances salt tolerance and improves growth and photosynthetic performance. **Plant & Cell Physiology**, v. 49, n. 08, p. 1150-1164, 2008.
- MELO, R. M. *et al.* Correção de solos salino-sódicos pela aplicação de gesso mineral. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.12, p.376-380, 2008.
- MIRANDA, M. A. *et al.* Condicionadores químicos e orgânicos na recuperação de solo salino-sódico em casa de vegetação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, n.5, 2011.
- MIRANDA, M. F. A. *et al.* Correção de solo salino-sódico com soluções de cloreto de cálcio cultivado com sorgo sudanense. **Caatinga**, v.21, n.5, p.18-25, 2008.
- MORAIS, F. A. *et al.* Influência da irrigação com água salina na cultura do girassol. **Revista Ciência Agronômica**, v.42, n.2, p. 327-336, 2011.
- MURTAZA, G.; GHAFOR, A.; QADIR, M. Irrigation and soil management strategies for using saline-sodic water in a cotton–wheat rotation. **Agricultural Water Management**, v.81, p. 98–114, 2006.
- 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. **Química e mineralogia do solo**. Viçosa/MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2009. v.2, 2009, p.449- 484.
- SADIQ, M. *et al.* Performance of cotton varieties in saline sodic soil amended with sulfuric acid and gypsum. **Pakistan Journal of Agricultural Sciences**, v.40, n.3-4, p.99-105, 2003.
- SALDANHA, E. C. M. *et al.* Uso do gesso mineral em Latossolo cultivado com cana de açúcar. **Caatinga**, v.20, n.1, p.36-42, 2007.
- SANTOS, J. F. *et al.* Produção e componentes produtivos de variedades de feijão caupi na microregião cariri paraibano. **Revista Engenharia Ambiental**, v.6, n.1, p.214-222, 2009.
- SANTOS M. F. G. *et al.* Solo sódico tratado com gesso agrícola, composto de lixo urbano e vinhaça. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.9 n.3, p.307-313, 2005.
- SILVEIRA, K. R. *et al.* Gypsum saturated water to reclaim alluvial saline sodic and sodic soils. **Scientia Agrícola**, v.65, p.69-76, 2008.
- SILVA, F. A. S. E.; AZEVEDO, C. A. V. **Principal Components Analysis in the Software Assisat-Statistical Attendance**. In: WORLD CONGRESS ON COMPUTERS IN AGRICULTURE, 7, Reno-NV-USA: American Society of Agricultural and Biological Engineers, 2009.
- SMEDEMA, L. K.; SHIATI, K. Irrigation and salinity: a perspective review of the salinity hazards of irrigation development in the arid zone. **Irrigation and Drainage Systems**, v.16, n.2, p.161-74. 2002.

SOUSA, E. R. *et al.* Fitoextração de sais pela *Atriplex nummularia* Lindl. sob estresse hídrico em solo salino sódico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, n.5, p.477-483, 2011.

TAVARES FILHO, A. N. *et al.* Incorporação de gesso para correção da salinidade e sodicidade de solos salino-sódicos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, n.3, p.247-252, 2012.

CAPÍTULO 4: Crescimento, trocas gasosas e teores de íons em algodão, girassol e feijão-de-corda, cultivados em rotação durante a recuperação de um solo salino-sódico

RESUMO

Objetivou-se com este trabalho avaliar a produção de biomassa, as trocas gasosas e os teores de íons em plantas de algodão, girassol e feijão-de-corda durante a recuperação de um solo salino sódico com o uso de gesso agrícola e matéria orgânica. Os tratamentos foram dispostos em um delineamento em blocos casualizados, em parcelas subdivididas, com quatro repetições, durante dois ciclos. As parcelas foram formadas pelos tratamentos: T1. Subsolagem (S); T2. S + 20 Mg ha⁻¹ de gesso; T3. S + 40 Mg ha⁻¹ de matéria orgânica; T4. S + 10 Mg ha⁻¹ de gesso + 20 Mg ha⁻¹ de matéria orgânica; T5. S + 20 Mg ha⁻¹ de gesso + 40 Mg ha⁻¹ de matéria orgânica, e as subparcelas corresponderam às rotações culturais algodão-feijão-de-corda (AL/FC) e girassol-feijão-de-corda (GI/FC). Não se observaram diferenças na produção de matéria seca da parte aérea entre as espécies nos dois anos de cultivo; no entanto, no ciclo 2010/2011 observou-se um aumento médio de 114% (algodão) e 89% (girassol) na produção de matéria seca, em relação ao ciclo 2009/2010, sendo um indicativo da recuperação do solo. Os tratamentos aplicados promoveram incremento de matéria seca da parte aérea do feijão-de-corda de um cultivo para outro. Observaram diferenças estatísticas nas medições de condutância estomática e das taxas de fotossíntese e de transpiração apenas entre épocas de medições. Os teores foliares de Na⁺ nas plantas de girassol e algodão foram reduzidos de um cultivo para outro, principalmente nos tratamentos com aplicação de gesso. A absorção do íon Na⁺ foi sempre maior pela cultura algodão nos dois anos de cultivo, enquanto os teores de K⁺ e Ca²⁺ foram maiores na cultura do girassol.

Palavras-Chave: Produção de biomassa. Fotossíntese. Nutrição mineral.

CHAPTER 4: Growth, gas exchange and ion concentration in cotton, sunflower and cowpea, cultivated in rotation during the reclamation of a saline-sodic soil

ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate biomass production, gas exchange and ion content in cotton plants, sunflower and bean-rope during recovery of a saline sodic soil using gypsum and organic matter. Treatments were arranged in a randomized block design in a split plot design with four replications during two cycles. The plots were formed by the treatments: T1. Subsoiling (S), T2. S + 20 Mg ha⁻¹ gypsum, T3. S + 40 Mg ha⁻¹ of organic matter; T4. S + 10 Mg ha⁻¹ gypsum + 20 Mg ha⁻¹ of organic matter; T5.S + 20 Mg ha⁻¹ gypsum + 40 Mg ha⁻¹ of organic matter and the subplots correspond to cultural revolutions cotton-cowpea (AL / HR) and sunflower-cowpea (GI / FC).There were no differences in the dry matter of the aerial part of the species within two years of cultivation, however, the cycle 2010/2011 there was an average increase of 114% (cotton) and 89% (sunflower) to produce dry matter relative to 2009/2010 cycle being indicative of the recovery of the ground. The treatments promoted increased dry matter of the aerial part of the cowpea of a crop to another. Statistically significant difference in measurements of stomatal conductance and rates of photosynthesis and transpiration measurements only between seasons. Foliar concentrations of Na⁺ in plants of sunflower and cotton crops were reduced to one another, especially in the treatments with application of gypsum. The absorption of Na⁺ ion was always higher by two years cotton crop cultivation, while the K⁺ and Ca²⁺ were higher in sunflower cultivation.

Keywords: Biomass production. Photosynthesis. Mineral nutrition.

4.1. INTRODUÇÃO

O problema do excesso de sais nos solos são conhecidos há muito tempo, mas sua magnitude e intensidade têm aumentado, resultando na expansão alarmante da área de solos degradados por salinidade e sodicidade. Estes problemas são consequências do uso de terras marginais e do manejo inadequado da irrigação (RIBEIRO; FREIRE; MONTENEGRO, 2003).

A salinidade é um dos principais fatores ambientais limitantes ao crescimento e produtividade das culturas (LV *et al.* 2008), uma vez que as altas concentrações de sais no solo, além de reduzir o seu potencial hídrico, podem provocar efeitos tóxicos às plantas, causando distúrbios funcionais e injúrias no metabolismo (SILVA *et al.*, 2009). Além disso, restringem a absorção de nutrientes pelas plantas, interferindo no desenvolvimento das mesmas podendo, assim, reduzir a produção agrícola a níveis antieconômicos (FREIRE *et al.*, 2003).

Os efeitos da salinidade e/ou da sodicidade são diferentes e variam entre espécies e entre genótipos de uma mesma espécie, visto que algumas produzem rendimentos aceitáveis, em níveis relativamente altos de condutividade elétrica, enquanto outras são mais sensíveis. Esta diferença deve-se à melhor capacidade de adaptação osmótica de algumas espécies, sendo capazes de absorver e acumular íons e além de terem maior capacidade de absorção de água, mesmo em potenciais osmóticos muito baixos (MARINHO; FERNANDES; GHEYI, 1998).

Trabalhos como os desenvolvidos por Greenway e Munns (1980) e Azevedo Neto, (2000) demonstram que a salinidade promove um aumento nos teores de sódio e cloreto, tanto em glicófitas como em halófitas. Em plantas que crescem em solos salinos, as células podem apresentar distúrbios na homeostase iônica não só devido ao aumento da concentração de Na^+ como também pela diminuição da concentração de K^+ no citosol, causando a conseqüente redução da relação K^+/Na^+ (ZHU, 2003).

Apesar de muitos trabalhos terem demonstrado os efeitos da salinidade na nutrição mineral das plantas, verifica-se que as respostas são bastante variáveis e complexas (LACERDA *et al.*, 2006). Essas respostas variam em função do tipo de planta, do índice de salinidade, da concentração do nutriente e das condições de crescimento. Também é relevante o fato de que o menor crescimento pode resultar em menor extração de nutrientes pelas culturas, o que favorece a lixiviação de nutrientes e a contaminação do lençol freático (NEVES *et al.*, 2009). Assim, práticas de manejo mais apropriadas para controlar a salinidade

dos solos a longo prazo tornam se fundamentais em um programa de cultivo de solos afetados por sais, principalmente visando à sustentabilidade, além de constituírem alternativas de uso e recuperação do solo (LEAL *et al.*, 2008).

Portanto, neste trabalho objetivou-se avaliar a produção de biomassa, as trocas gasosas e os teores de íons em plantas de algodão, girassol e feijão-de-corda durante a recuperação de um solo salino sódico no Perímetro Irrigado Curu Pentecoste, com o uso de gesso agrícola e matéria orgânica.

4.2. MATERIAL E MÉTODOS

4.2.1. Localização e caracterização da área (idem ao Capítulo 2)

4.2.2. Caracterização do solo da área

O solo da área do experimento segundo EMBRAPA (2006) é classificado como Neossolo Flúvico apresentando os seguintes atributos físico-químicos e hídricos na profundidade de 0 a 30 cm, antes do experimento (Tabela 4.1).

Tabela 4.1. Atributos físico-químicos e hídricos do solo antes da instalação do experimento na profundidade de 0 a 30 cm

Atributos	Unidades	Valores
Classe textural		Franco-arenosa
Ds	kg dm ⁻³	1,41
Dp	kg dm ⁻³	2,6
Uv a 0,033 MPa	m ³ m ⁻³	0,22
Uv a 1,5 MPa	m ³ m ⁻³	0,09
Ca ²⁺	cmol _c dm ⁻³	5,50
Mg ²⁺	cmol _c dm ⁻³	1,60
K ⁺	cmol _c dm ⁻³	0,18
Na ⁺	cmol _c dm ⁻³	3,44
H ⁺ + Al ³⁺	cmol _c dm ⁻³	0,0
pH em água (1:2,5)		8,0
CE _{1:1}	dS m ⁻¹	4,0
PST	(%)	32,1

Ds – densidade do solo; Dp – densidade de partículas; Uv – umidade volumétrica; CE_{1:1} – condutividade elétrica do solo medida no extrato 1:1 (solo:água); PST – percentagem de sódio trocável

4.2.3 Delineamento experimental e tratamentos

O delineamento experimental adotado foi em blocos casualizados, em parcelas subsubdivididas, com quatro repetições. As parcelas foram formadas pelos tratamentos químicos e orgânicos, as subparcelas corresponderam às rotações culturais algodão-feijão-de-corda (AL/FC) e girassol-feijão-de-corda (GI/FC) e as subsubparcelas corresponderam às coletas realizadas ao longo do ciclo do algodão e girassol. Para o cultivo do feijão de corda foi realizada apenas a coleta final, portanto, o delineamento foi considerado como parcelas subdivididas.

Toda a área do experimento recebeu uma subsolagem com o propósito de romper a camada retardadora ao fluxo de água no perfil do solo. Os tratamentos nas parcelas foram:

- T1. Testemunha - apenas subsolagem, (S);
- T2. Subsolagem + 20 Mg ha⁻¹ de gesso, (SG₂₀);
- T3. Subsolagem + 40 Mg ha⁻¹ de matéria orgânica (SMO₄₀);
- T4. Subsolagem + 10 Mg ha⁻¹ de gesso + 20 Mg ha⁻¹ de matéria orgânica, (SG₁₀MO₂₀);
- T5. Subsolagem + 20 Mg ha⁻¹ de gesso + 40 Mg ha⁻¹ de matéria orgânica, (SG₂₀MO₄₀).

A aplicação do gesso e da matéria orgânica foi realizada após o preparo da área, sendo que as doses de gesso dos tratamentos T2 (SG₂₀) e T5 (SG₂₀MO₄₀) foram calculadas de acordo com Cavalcante *et al.* (2010), com base nos dados da Tabela 4.1 e considerando uma profundidade de 30 cm. A dose do gesso no tratamento T4 (SG₁₀MO₂₀) correspondeu a 50% da necessidade de gesso. As aplicações do gesso e da matéria orgânica foram feitas a lanço logo após a instalação do sistema de drenagem e a incorporação foi feita com a utilização de grade aradora (Figura 4.1).



Figura 4.1. Distribuição de gesso (A), esterco (B), gesso e esterco (C) nos tratamentos T2, T3 e T4 respectivamente e incorporação ao solo (D)

Foto: SOUSA, C. H C. (2009)

Cada parcela possuía as dimensões de 6,4 m de largura por 20 m, correspondendo a uma área de 128 m². Cada subparcela possuía as dimensões de 6,4 m de largura por 10 m comprimento, correspondendo a uma área de 64 m² contendo cada uma 8 fileiras de plantio de 10 m.

4.2.4 Cultivos irrigados na estação seca (algodão e girassol)

O primeiro cultivo ocorreu de setembro 2009 a janeiro de 2010 utilizando as seguintes espécies: algodão (*Gossipium hirsutum* L.) cv. BRS 187 8H e girassol (*Helianthus annuus* L) cv. Catissol (Figura 4.2). O segundo cultivo ocorreu de setembro 2010 a janeiro de 2011, utilizando as mesmas espécies. O plantio foi realizado com espaçamento de 0,8 m entre sulcos para as duas espécies, e o espaçamento de 0,3 m entre plantas. Ao final do ciclo de

cada espécie, foram colhidas 10 plantas por parcela para avaliação da produtividade do algodão (grãos e pluma) e girassol (aquênios).



Figura 4.2. Girassol tratamento T4 aos 60 (A) e algodão tratamento T3 aos 105 dias após o plantio (B).

Foto: SOUSA, C. H. C. (2010)

A irrigação foi realizada através de sulcos abertos, sendo que nos cultivos das estações secas (algodão e girassol), a frequência foi semanal de acordo com disponibilidade de água do Perímetro, utilizando-se como critério do tempo de reposição, a metade do tempo de avanço da água no sulco. A água utilizada na irrigação era proveniente do Açude General Sampaio, distribuída no perímetro através de um canal secundário, sendo as características químicas apresentadas na Tabela 4.2.

Tabela 4.2. Atributos da água do canal utilizada durante o experimento

Atributos	Unidade	Valores
CEa	dS m ⁻¹	0,65
pH		7,10
Ca ²⁺	mmol _c L ⁻¹	1,29
Mg ²⁺	mmol _c L ⁻¹	1,82
Na ⁺	mmol _c L ⁻¹	2,29
HCO ₃ ⁻	mmol _c L ⁻¹	2,01
Cl ⁻	mmol _c L ⁻¹	3,52
RAS	(mmol L ⁻¹) ^{1/2}	1,82

CEa – condutividade elétrica da água de irrigação; RAS – Razão de adsorção

A adubação das plantas seguiu a recomendação de Fernandes (1993) sendo As quantidades necessárias de macronutrientes às seguintes: 20 kg ha⁻¹ de nitrogênio (N), 50 kg ha⁻¹ de fósforo (P) e 50 kg ha⁻¹ de potássio (K), sendo parte aplicada por ocasião do plantio e o restante em cobertura. Os fertilizantes usados foram a ureia, o superfosfato simples e o cloreto de potássio. Também por ocasião do plantio aplicou-se ainda 10,00 kg ha⁻¹ de micronutrientes, na forma comercial do fertilizante mineral FTE BR-12 (9% Zn; 1,8% B; 0,85% Cu; 3% Fe; 2,1% Mn; e 0,10% Mo).

O controle de plantas daninhas foi realizado à enxada e com aplicações de herbicidas utilizando-se as misturas diuron+alachlor ou diuron+metholachlor, aplicados em pré-emergência da cultura nas doses recomendadas pelos fabricantes. Os tratamentos fitossanitários quando necessários foram feitos seguindo as recomendações de Leite, Brighenti e Castro (2005), mediante a realização pulverizações com os inseticidas orthene 750 br e vertimec[®].

Para verificar o grau de estresse imposto ao longo do ciclo das culturas, aos 40, 70 e 90 dias após o plantio, foram realizadas medições de taxas de fotossíntese, transpiração e condutância estomática, em folhas completamente maduras utilizando-se um IRGA modelo LI 6400XT (Licor, USA) (Figura 4.3). As medições foram realizadas sempre entre 09:00 e 11:00 horas, utilizando-se uma fonte artificial de radiação de 1400 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$.



Figura 4.3. Medições das trocas gasosas foliares de algodão, utilizando-se um IRGA modelo LI 6400

Foto: SOUSA, C. H C. (2010)

Ao longo do ciclo das culturas de girassol e algodão foram realizadas coletas de seis plantas dentro da parcela útil (quatro fileiras centrais), aos 15, 45, 70 e 100 dias após o plantio (DAP), para determinação da produção de matéria seca de caules, folhas e matéria seca vegetativa (Figura 4.4).



Figura 4.4. Momento das coletas no campo para determinação da produtividade do girassol tratamento T1 (A) e algodão tratamento T3 (B)

Foto: SOUSA, C. H C. (2010)

Os materiais foliares colhidos aos 15, 45, 70 e 100 DAP foram utilizadas para avaliar o acúmulo de íons nas duas espécies. As amostras após secagem em estufa a 60 °C foram finamente moídas e utilizadas para determinação dos teores de Na^+ , K^+ e Ca^{2+} , de acordo com Malavolta *et al.* (1997).

4.2.5. Cultivo do feijão-de-corda durante a estação chuvosa

Durante as estações chuvosas de 2010 e 2011 foi cultivado o feijão-de-corda (*Vigna unguiculata* L. Walp.), cultivar EPACE 10, utilizando-se o mesmo espaçamento entre linhas e entre plantas do algodão e girassol (0,8 x 0,3 m). As parcelas e subparcelas possuíam as mesmas dimensões do girassol e do algodão. Após a colheita principal, cerca de 70 dias após a sementeira, foi realizada a avaliação da produtividade e em seguida a incorporação do material vegetal ao solo (Figura 4.5).

A adubação seguiu a recomendação da literatura (FERNANDES, 1993), sendo utilizadas doses de 20, 60, 30 e 10 kg ha⁻¹ respectivamente para N, P₂O₅, K₂O e FTE (micronutrientes).

Foram utilizados os defensivos orthene na proporção de 1,0 mL por litro de água e vertimec na proporção de 1,5 mL por litro de água, para o controle do pulgão e da larva minadora, respectivamente, e o acaricida/fungicida Kumulus S (3 g L^{-1}) para o controle do ácaro, com pulverizações através de uma bomba costal de 20 L com bico tipo cone cheio. Para o controle de plantas daninhas foram realizadas capinas manuais.



Figura 4.5. Feijão-de-corda tratamento T3 aos 15 (A) e 60 dias após o plantio (B)
Foto: SOUSA, C. H C. (2010)

Aos 70 foram coletadas 6 plantas por subparcela para determinação da produção de matéria seca de hastes, folhas e total da parte aérea. Os tecidos foliares secos foram utilizados para determinação dos teores de Na^+ , K^+ e Ca^{2+} , de acordo com Malavolta *et al.* (1997).

4.2.6 Análises estatísticas

Os resultados das variáveis foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey com $P < 0,05$, utilizando-se os programas SAEG (UFV, 2000) e ASSISTAT 7.6 Beta (SILVA; AZEVEDO, 2009).

4.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.3.1. Produção de matéria seca vegetativa de girassol e algodão

Analisando a produção de matéria seca vegetativa das plantas de algodão e girassol foi verificado que houve diferenças significativas ($P < 0,01$) apenas para as épocas de coleta, o que era de se esperar, porém não foram observados efeitos dos tratamentos de correção do solo nem diferenças entre as espécies estudadas (Tabela 4.3). Verificou-se, também, a ocorrência de interação entre as épocas de coleta e os tratamentos de correção do solo.

Tabela 4.3. Resumo da análise de variância da produção de matéria seca vegetativa de plantas de algodão e girassol nos anos de 2010 e 2011

F. V.	G. L.	Quadrado médio	
		2010	2011
Bloco	3	278,36ns	2825,47ns
Ta (Coletas)	3	27868,81**	129680,37**
Resíduo (Ta)	9	77,17	1729,81
Parcelas	15		
Tb (Tratamentos)	4	53,75ns	1089,02ns
Ta x Tb	12	20,34*	593,64
Resíduo (Tb)	48	95,85	481,86
Subparcelas	79		
Tc (Espécies)	1	28,40ns	5,50ns
Ta x Tc	3	57,61ns	177,66ns
Tb x Tc	4	18,19ns	453,44ns
Ta x Tb x Tc	12	55,643ns	175,20ns
Resíduo (Tc)	60	31,05	400,54
Total	159		

** significativo ao nível de 0,01 de probabilidade; * significativo ao nível de 0,05 de probabilidade; ns não significativo.

As curvas de produção de matéria seca da parte aérea estão apresentadas na Figura 4.6. Verifica-se que a produção de matéria seca seguiu a mesma tendência para as duas espécies, conforme mostram as curvas. A baixa produção de biomassa das duas espécies em

2009/2010 pode estar relacionada com o problema de salinidade ainda existente na área em estudo. Flowers (2004) afirmam que a produção de biomassa é um bom critério para se avaliar o crescimento de plantas em ambientes com problemas de salinidade. Entretanto, a redução no crescimento da planta ocasionado pelo estresse salino pode estar relacionada com os efeitos adversos do excesso de sais sobre a homeostase iônica, balanço hídrico, nutrição mineral e metabolismo fotossintético de carbono (ZHU, 2003; MUNNS, 2002). No entanto, no segundo ciclo realizado em 2010/2011, foi observado que as duas espécies produziram bem mais matéria seca quando comparadas ao ano anterior apresentando incrementos médios de 89% (girassol) e 114% (algodão) com 118 e 124 g planta⁻¹, respectivamente (Figura 4.6). Na coleta realizada aos 100 dias em 2009/2010 as partes aéreas das plantas de girassol e algodão pesavam em média 58 e 62 g planta⁻¹, respectivamente.

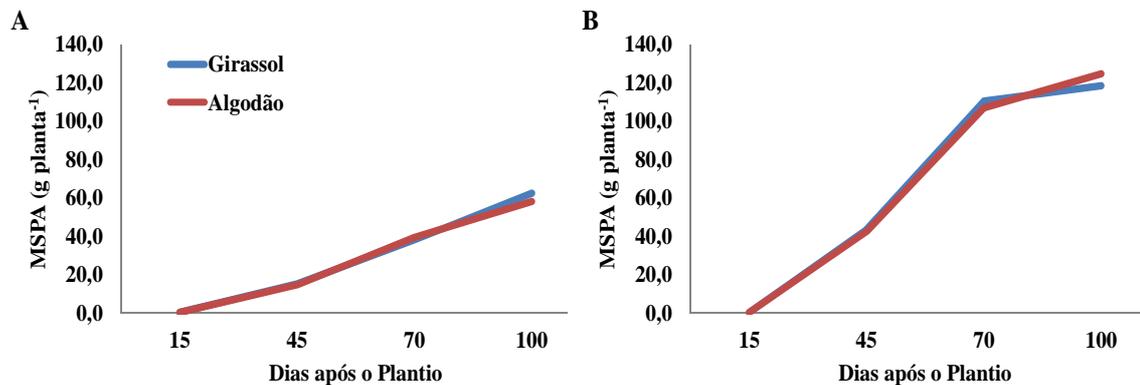


Figura 4.6. Produção de matéria seca vegetativa de plantas de algodão e girassol (A) em 2010 e (B) em 2011.

Em 2010/2011 apesar de não ter havido diferença estatística da produção de matéria seca das plantas entre os tratamentos e entre as espécies, as práticas de preparo do solo (gradagem e subsolagem) e a adição dos melhoradores podem ter contribuído para esse incremento de matéria seca de um ano para outro. Isto se deve ao fato de que essas práticas promovem alterações nas características químicas e físicas das camadas do solo favorecendo o desenvolvimento das raízes permitindo que as plantas utilizassem com mais eficiência os nutrientes aplicados ao solo (SOUSA *et al.* 1995; EMBRAPA, 2003).

4.3.2. Trocas gasosas em plantas de algodão e girassol

A Tabela 4.4 apresenta o resumo da análise de variância para condutância estomática (gs), taxa de fotossíntese (A), taxa de transpiração (E). Verifica-se que houve

diferença significativa ($P < 0,01$) apenas para as coletas, não sendo verificados efeitos isolados e interações entre os fatores nas parcelas e subparcelas.

Tabela 4.4. Resumo da análise de variância para condutância estomática (gs), fotossíntese (A) e transpiração (E) em plantas de algodão e girassol nas três épocas de medição.

F. V.	G. L.	Quadrado médio		
		Gs	A	E
Bloco	3	0,09ns	31,84ns	5,74ns
Ta (Coletas)	2	1,29**	163,02**	93,58**
Resíduo (Ta)	6	0,06	11,05	1,7
Parcelas	11			
Tb (Tratamentos)	4	0,11ns	13,63ns	1,40ns
Ta x Tb	8	0,11ns	41,11ns	2,76ns
Resíduo (Tb)	36	0,05	24,70	2,30
Subparcelas	59			
Tc (Espécies)	1	0,37ns	46,19ns	12,48ns
Ta x Tc	2	0,01ns	0,90ns	0,25ns
Tb x Tc	4	0,17ns	16,80ns	3,15ns
Ta x Tb x Tc	8	0,19ns	12,73ns	3,05ns
Resíduo (Tc)	45	0,12	15,60	1,93
Total	119			

** significativo ao nível de 0,01 de probabilidade; ns: não significativo.

De acordo com Gulzar, Khan e Ungar (2003), os estresses sofridos pelas culturas provocados pelo excesso de íons, em geral, diminuem a assimilação de CO_2 , condutância estomática, transpiração e fotossíntese das plantas e, por conseguinte, acabam por prejudicar a produção e a produtividade das culturas. Nesta pesquisa, as medições de condutância estomática e das taxas de fotossíntese e de transpiração não revelaram efeitos significativos dos tratamentos. As espécies classificadas como C3 apresentaram taxas de fotossíntese variando de 25 a 30 $\mu\text{mol de CO}_2 \text{ m}^{-1} \text{ s}^{-1}$, com pequenas diferenças entre elas, sendo esses valores compatíveis com esse tipo de metabolismo. Diferenças significativas foram observadas apenas em relação à época de medição (Figura 4.7), sendo menores aos 90 DAP, provavelmente em função do início do processo de senescência foliar.

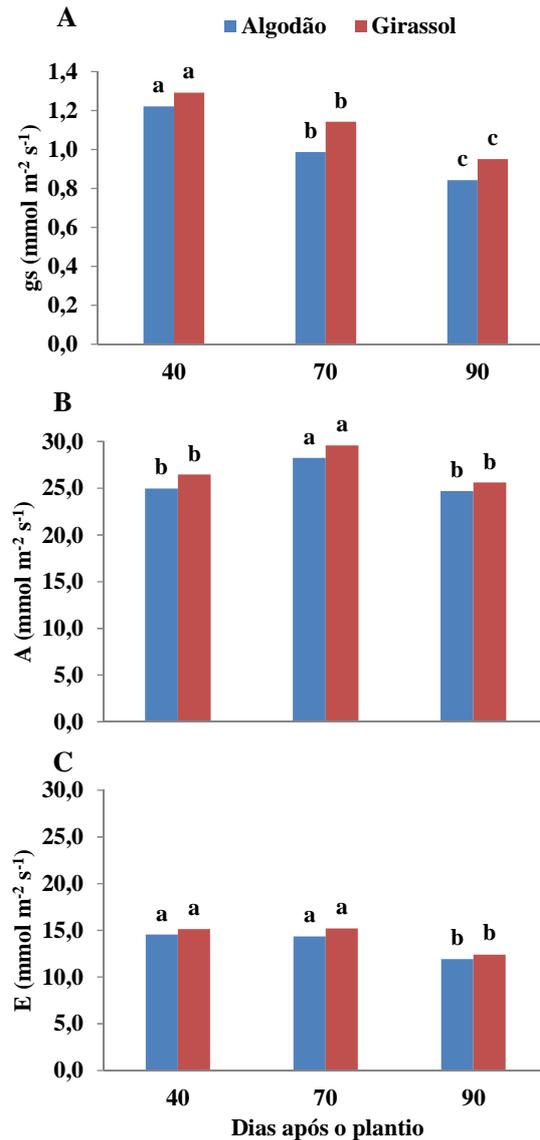


Figura 4.7. Médias de condutância estomática - g_s (A), fotossíntese - A (B) e transpiração - E (C) em plantas de algodão e girassol nas três épocas de medição.

* Médias seguidas das mesmas letras dentro de cada espécie não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($p > 0,05$).

4.3.3. Teores de Na^+ , K^+ e Ca^{2+} em folhas de algodão e girassol

Na Tabela 4.5 está apresentado o resumo da análise de variância para os teores de Na^+ , K^+ e Ca^{2+} nas folhas de girassol e algodão. Foi verificado que houve diferenças significativas ($P < 0,01$) para as épocas de coleta bem como para a maioria das interações. No entanto, não foram observados efeitos das interações entre as coletas e os tratamentos para o Na^+ e Ca^{2+} em 2010 e Ca^{2+} em 2011. O mesmo se repetiu para a interação coleta x tratamento x espécie.

Tabela 4.5. Resumo da análise de variância para os teores de Na⁺, K⁺ e Ca²⁺ em folhas de girassol e algodão em função do tempo e dos tratamentos aplicados

F. V.	G. L.	Quadrado médio					
		2010			2011		
		Na (g kg ⁻¹)	K (g kg ⁻¹)	Ca (g kg ⁻¹)	Na (g kg ⁻¹)	K (g kg ⁻¹)	Ca (g kg ⁻¹)
Bloco	3	13,55ns	14,71ns	1,03*	4,10ns	4,58*	4,47ns
Ta (Coletas)	3	62,33**	730,19**	33,79**	136,15**	188,76**	137,24**
Resíduo (Ta)	9	3,74	8,09	0,18	2,35	0,95	1,79
Parcelas	15						
Tb (Tratamentos)	4	16,39**	32,14*	0,44ns	62,64**	24,74**	4,55*
Ta x Tb	12	2,83ns	32,38**	0,35ns	4,18**	19,07**	1,26ns
Resíduo (Tb)	48	4,14	10,18	0,19	1,62	3,76	1,27
Subparcelas	79						
Tc (Espécies)	1	378,77**	1939,54**	20,93**	419,57**	22,79*	77,55**
Ta x Tc	3	19,94**	339,06**	8,97**	17,65**	19,34*	6,07**
Tb x Tc	4	10,88*	38,12**	0,86**	12,40**	50,15**	8,05**
Ta x Tb x Tc	12	2,21ns	30,45**	0,30ns	3,59**	24,19**	1,66ns
Resíduo (Tc)	60	3,34	10,08	0,18	1,08	4,34	1,40
Total	119						

Avaliando-se os efeitos dos tratamentos, verifica-se que o acúmulo de Na^+ , K^+ e Ca^{2+} nas folhas das espécies estudadas variou em função desses tratamentos, conforme mostra os dados da Tabela 4.6 Em 2010 os teores de Na^+ se diferenciaram estatisticamente entre as duas espécies em nível de ($P < 0,05$). No entanto, quanto aos tratamentos, apenas o algodão se diferenciou como pode ser verificado nos tratamentos com aplicação de gesso e com gesso e matéria orgânica quando se compara ao tratamento T1(S) que recebeu apenas a subsolagem.

Em 2011 os teores desse íon continuaram decrescendo tendo ocorrido as maiores reduções nos tratamentos T2, T4 e T5 (Tabela 4.6). O efeito significativo dos tratamentos na diminuição dos teores desse íon reforça ainda mais que o uso desses melhoradores é de fundamental importância considerando que o Na^+ é um íon potencialmente tóxico. Observa-se também que das duas espécies, o algodão foi a que mais acumulou Na^+ nas folhas. É possível se constatar com esses resultados que de maneira geral a presença do gesso isolado ou associado à matéria orgânica favoreceu de forma significativa o estabelecimento da cultura, permitindo que uma importante parcela do Na^+ no complexo de troca tenha sido substituída pelo Ca^{2+} do gesso reduzindo, desta forma, o efeito do sódio e melhorando algumas características produtivas do solo como é o caso do sódio trocável.

Sousa *et al.* (2010), comparando três espécies (algodão, feijão-de-corda e sorgo), verificou que o algodão apresentou maiores teores de Na^+ , especialmente nas raízes e folhas. Mühlhling e Läuchli (2002) também encontraram maiores teores de Na^+ em folhas de algodoeiro em comparação com folhas de milho, sendo esta última espécie considerada bem mais sensível ao estresse salino. Isso é um indicativo de que a tolerância do algodoeiro ao estresse salino não está associada, necessariamente, à exclusão de Na^+ , como ocorre com outras espécies glicófitas (LACERDA *et al.*, 2003); no entanto, pode-se sugerir que a boa retenção desse íon nas raízes, associada a outros mecanismos de proteção como, por exemplo, a produção de altos níveis de antioxidantes (ASHRAF, 2002), pode contribuir para sua maior tolerância à salinidade.

Tabela 4.6. Teores foliares médios de Na⁺, K⁺ e Ca²⁺ em plantas de algodão, girassol em função dos tratamentos aplicados

Trat.	Na (g kg ⁻¹)				K (g kg ⁻¹)				Ca (g kg ⁻¹)			
	Algodão	Girassol	Algodão	Girassol	Algodão	Girassol	Algodão	Girassol	Algodão	Girassol	Algodão	Girassol
	2009/2010		2010/2011		2009/2010		2010/2011		2009/2010		2010/2011	
T1	7,77 aA*	4,62 aB	9,02 aA	3,84 aB	9,31 aB	18,59 aA	10,87 bA	10,70 bA	1,51 aA	1,92 abA	3,87 bA	3,62 aA
T2	6,66 bA	3,28 aB	4,24 dA	2,25 bcB	10,68 aB	14,36 bA	10,67 bA	11,05 bA	1,49 aA	2,22 aA	5,74 aA	3,37 aB
T3	8,37 aA	3,54 aB	7,13 bA	3,44 aB	10,70 aB	18,99 aA	10,64 bA	11,65 abA	1,34 aA	1,72 bA	4,81 bA	3,02 aB
T4	5,82 bA	3,81 aB	5,98 cA	3,18 abB	10,71 aB	16,76 abA	8,55 cB	13,26 aA	1,15 aA	2,24 aA	5,55 aA	3,02 aB
T5	5,62 bA	3,60 aB	4,39 dA	1,85 cB	11,27 aB	18,78 aA	13,94 aA	11,80 abA	1,22 aA	2,23 aA	4,23 bA	3,25 aB

* Médias seguidas das mesmas letras nas colunas (minúsculas) e nas linhas (maiúsculas) não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, ao nível de 0,05 de probabilidade.
T1. Apenas subsolagem, (S); T2. Subsolagem + 20 Mg ha⁻¹ de gesso, (SG₂₀); T3. Subsolagem + 40 Mg ha⁻¹ de matéria orgânica (SMO₄₀); T4. Subsolagem + 10 Mg ha⁻¹ de gesso + 20 Mg ha⁻¹ de matéria orgânica, (SG₁₀MO₂₀); T5. Subsolagem + 20 Mg ha⁻¹ de gesso + 40 Mg ha⁻¹ de matéria orgânica, (SG₂₀MO₄₀).

De maneira geral, as maiores doses de gesso também resultaram em maiores teores de K^+ (Tabela 4.6), algo também considerado positivo, por ser este um elemento requerido em grandes quantidades pelas culturas e em especial pela cultura do girassol (SANTOS, 2009).

Os teores de Ca^{2+} , por sua vez, foram maiores para o girassol nos tratamentos em que se aplicou o gesso, evidenciando a maior disponibilidade do Ca^{2+} pelo gesso (Tabela 4.6). O aumento da concentração de cálcio, em virtude da aplicação do gesso, também resulta no deslocamento do sódio das micelas coloidais para a solução do solo, expondo-o à lixiviação, reduzindo a absorção pelas plantas (GHEYI, 2000).

Na avaliação dos efeitos apenas da época de coleta Figuras 4.8 e 4.9 verifica-se um comportamento esperado que reflete a demanda das culturas e a mobilidade dos íons no floema das plantas. Conforme é mostrado o K^+ se apresentou sempre em maiores concentrações em relação ao Na^+ e Ca^{2+} , refletindo sua elevada demanda pelas espécies. Os teores de K^+ foram maiores entre 45 e 70 DAP (girassol) e 70 DAP (algodão), quando as plantas já iniciaram sua fase reprodutiva e a exigência por esse nutriente se torna maior. Na última coleta, aos 100 DAP, já se observa queda nos teores de K^+ , consequência de sua translocação das folhas para os órgãos reprodutivos. O potássio é um elemento muito móvel na planta, com alta mobilidade intracelular e nos tecidos, percorrendo longas distancias com distribuição pelos vasos do xilema e floema (MEURER, 2006). A absorção do nutriente é função da demanda pela planta e da capacidade de suprimento do solo.

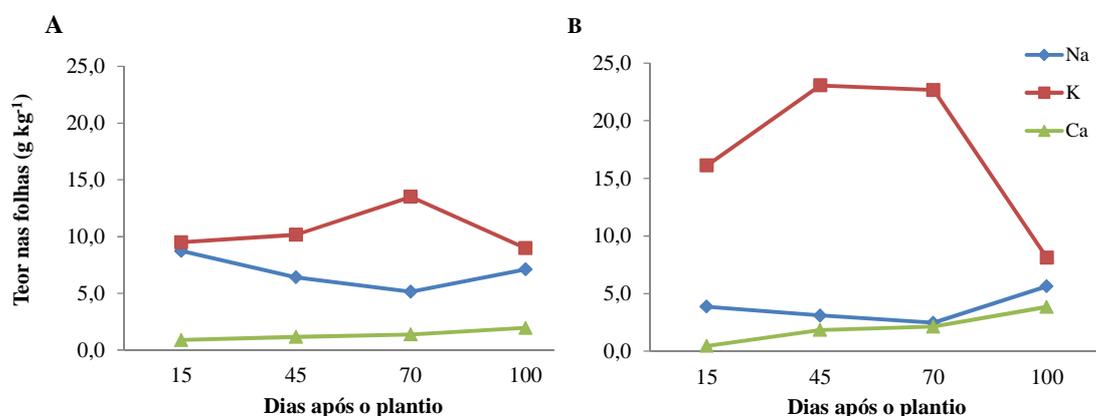


Figura 4.8. Teores foliares médios de Na^+ , K^+ e Ca^{2+} em plantas de algodão (A) e girassol (B) em função da época de coleta (2010)

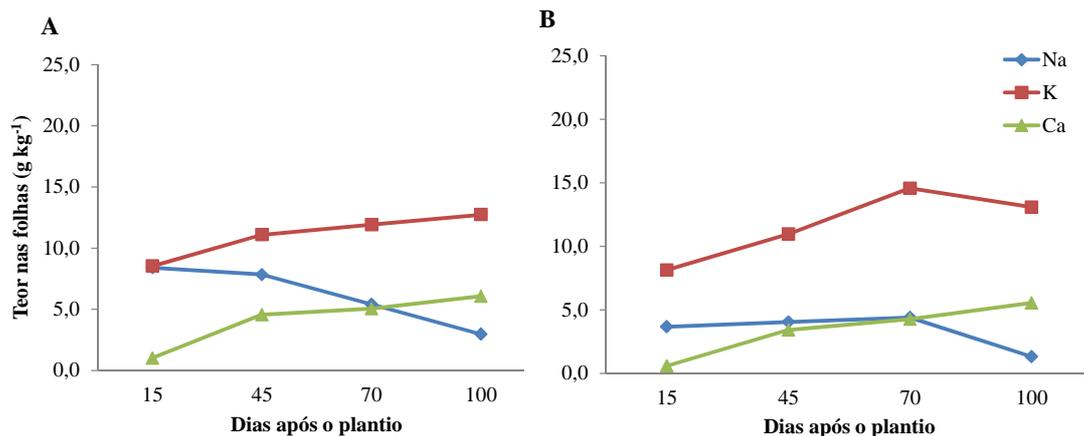


Figura 4.9. Teores foliares médios de Na⁺, K⁺ e Ca²⁺ em plantas de algodão (A) e girassol (B) em função da época de coleta (2011)

Os teores de Na⁺, por sua vez, pouco variaram ao longo dos cultivos, porém, foram superiores aos de Ca²⁺, refletindo ainda a disponibilidade desse íon no solo (Figura 4.9), entretanto, em 2011 foi verificada situação inversa após os 70 dias de plantio mostrando a resposta da aplicação do gesso. Já os teores de Ca²⁺ cresceram durante todo o período experimental, refletindo sua baixa mobilidade no floema, ou seja, esse nutriente vai se acumulando nos órgãos vegetativos ao longo de toda a vida da planta. Observa-se também que no segundo cultivo em 2010/2011 seus valores foram bem superiores àqueles observados em 2009/2010 confirmando a contribuição dos tratamentos no aumento nos teores desse elemento no solo durante o processo de recuperação.

4.3.4. Produção de matéria seca e teores de íons em feijão-de-corda

Analisando a produção de matéria seca da parte aérea das plantas de feijão-de-corda, foi verificado que houve diferenças significativas ($P < 0,01$) para os tratamentos de correção do solo e ($P < 0,05$) e para os sistemas de rotação. Porém, não se verificou ocorrência de interação entre os tratamentos e os sistemas rotacionais (Tabela 4.7).

Tabela 4.7. Resumo da análise de variância da produção de matéria seca vegetativa de feijão-de-corda sob diferentes tratamentos de recuperação e sistemas de rotação cultural algodão/feijão-de-corda (AL/FC) e girassol/feijão-de-corda (GI/FC)

F. V.	G. L.	Quadrado médio	
		2010	2011
Bloco	3	16,46ns	17,78ns
Ta (Tratamentos)	4	86,55**	117,44**
Resíduo (Ta)	12	9,17	6,97
Parcelas	19		
Tb (Rotação)	1	83,96*	7,77ns
Ta x Tb	4	26,41ns	32,51ns
Resíduo (Tb)	15	10,88	13,71
Total	39		

** significativo ao nível de 0,01 de probabilidade; * significativo ao nível de 0,05 de probabilidade; ns não significativo.

O cultivo na estação chuvosa com feijão-de-corda revelou-se uma alternativa promissora para sistema de rotação cultural em áreas moderadamente afetadas por sais. Os tratamentos influenciaram significativamente na produção de matéria seca do feijão-de-corda como pode ser visto na Tabela 4.8. O maior crescimento vegetativo foi obtido nos tratamento com aplicação de gesso e matéria orgânica, feito também observado por Lima *et al.* (2008) em feijão-de-corda. A reduzida produção de matéria seca nessa cultura evidenciada no tratamento T1 (S) sem adição de melhoradores pode estar associada aos efeitos osmóticos, tóxicos e nutricionais decorrentes do acúmulo de sais na zona radicular da planta, que inibem a expansão foliar e aceleram a senescência de folhas maduras, reduzindo, conseqüentemente, a área destinada ao processo fotossintético e à produção total de fotoassimilados (MUNNS, 2002; LACERDA *et al.*, 2006; NEVES *et al.*, 2009).

Tabela 4.8. Produção de matéria seca vegetativa de feijão-de-corda (g planta⁻¹) sob diferentes tratamentos de recuperação e sistemas de rotação cultural algodão/feijão-de-corda (AL/FC) e girassol/feijão-de-corda (GI/FC)

Tratamentos	2009/2010		2010/2011	
	AL/FC	GI/FC	AL/FC	GI/FC
T1	5,85 aA*	10,07 bcA	6,22 bA	9,45 bA
T2	9,68 aA	7,32 cA	12,03 bA	12,73 abA
T3	7,66 aA	9,35 bcA	9,73 bA	11,67 abA
T4	11,25 aA	14,65 abA	12,36 bA	16,68 aA
T5	11,51aB	19,07aA	20,93 aA	14,99 abA

* Médias seguidas das mesmas letras nas colunas (minúsculas) e nas linhas (maiúsculas) não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a nível de 0,05 de probabilidade. T1. Apenas subsolagem, (S); T2. Subsolação + 20 Mg ha⁻¹ de gesso, (SG₂₀); T3. Subsolação + 40 Mg ha⁻¹ de matéria orgânica (SMO₄₀); T4. Subsolação + 10 Mg ha⁻¹ de gesso + 20 Mg ha⁻¹ de matéria orgânica, (SG₁₀MO₂₀); T5. Subsolação + 20 Mg ha⁻¹ de gesso + 40 Mg ha⁻¹ de matéria orgânica, (SG₂₀MO₄₀).

No resumo da análise de variância para os teores de Na⁺, K⁺ e Ca²⁺ nas folhas de feijão-de-corda apresentado na Tabela 4.9, foi verificado que houve diferenças significativas (P<0,01) apenas para os tratamentos em 2010. Já no ano de 2011 observados efeitos tanto dos tratamentos como das interações.

Observando os teores de Na⁺ no feijão-de-corda, verifica-se que ocorreram diferenças significativas, tendo o maior acúmulo ocorrido nas folhas das plantas que não receberam nenhuma aplicação de corretivo, seja de gesso ou matéria orgânica (Tabela 4.10). Também vale observar a redução desse íon de um ano para outro.

Tabela 4.9. Resumo da análise de variância para os teores de Na⁺, K⁺ e Ca²⁺ em plantas de feijão-de-corda

F. V.	G. L.	Quadrado médio					
		2010			2011		
		Na (g kg ⁻¹)	K (g kg ⁻¹)	Ca (g kg ⁻¹)	Na (g kg ⁻¹)	K (g kg ⁻¹)	Ca (g kg ⁻¹)
Bloco	3	0,01ns	2,37ns	0,57ns	0,00055ns	1,24**	0,02ns
Ta (Tratamentos)	4	1,35**	1,06ns	0,40ns	0,168**	18,99**	1,05**
Resíduo (Ta)	12	0,14	1,14	0,53	0,004	0,13	0,03
Parcelas	19						
Tb (Rotação)	1	0,04ns	1,08ns	0,003ns	0,004ns	2,87**	0,17ns
Ta x Tb	4	0,30ns	2,57ns	0,22ns	0,010ns	1,23**	1,38**
Resíduo (Tb)	15	0,18	2,68	0,20	0,006	0,12	0,18
Subparcelas	39						

** significativo ao nível de 0,01 de probabilidade; * significativo ao nível de 0,05 de probabilidade; ns não significativo.

Tabela 4.10. Teores foliares médios de Na⁺, K⁺ e Ca²⁺ em plantas de feijão-de-corda em função dos tratamentos aplicados

Trat.	Na (g kg ⁻¹)				K (g kg ⁻¹)				Ca (g kg ⁻¹)			
	AI/FC	GI/FCI	AI/FC	GI/FCI	AI/FC	GI/FCI	AI/FC	GI/FCI	AI/FC	GI/FCI	AI/FC	GI/FCI
	2009/2010		2010/2011		2009/2010		2010/2011		2009/2010		2010/2011	
T1	2,09 aA*	2,80 aA	1,19 aA	1,23 aA	7,02 aA	8,96 aA	10,35 bcA	10,48 cA	2,63 aA	2,19 aA	2,45 bA	2,70 cA
T2	154 bA	1,65 bA	0,94 bA	0,83 bA	7,86 aA	6,69 aA	13,17 aA	11,38 bB	3,02 aA	2,92 aA	3,69 aA	3,43 aA
T3	1,70 bA	1,48 bA	0,92 bA	0,84 bA	7,21 aA	7,05 aA	10,93 bA	10,31 cdB	2,47 aA	2,94 aA	3,83 aA	2,73 bcB
T4	1,76 bA	1,70 bA	0,89 bA	0,86 bA	7,20 aA	7,66 aA	10,16 cA	9,64 dA	2,81 aA	2,71 aA	3,56 aA	2,93 bA
T5	1,48 bA	1,26 bA	0,89 bA	0,95 bA	6,79 aA	7,37 aA	13,55 aA	13,67 aA	2,38 aA	2,57 aA	2,70 bB	3,77 aA

* Médias seguidas das mesmas letras nas colunas (minúsculas) e nas linhas (maiúsculas) não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, ao nível de 0,05 de probabilidade.

T1. Apenas subsolagem, (S); T2. Subsolagem + 20 Mg ha⁻¹ de gesso, (SG₂₀); T3. Subsolagem + 40 Mg ha⁻¹ de matéria orgânica (SMO₄₀); T4. Subsolagem + 10 Mg ha⁻¹ de gesso + 20 Mg ha⁻¹ de matéria orgânica, (SG₁₀MO₂₀); T5. Subsolagem + 20 Mg ha⁻¹ de gesso + 40 Mg ha⁻¹ de matéria orgânica, (SG₂₀MO₄₀).

Os teores de K^+ nas folhas das plantas de feijão-de-corda também aumentaram quando comparados ao primeiro ano de cultivo e no segundo cultivo (2010/2011) os maiores teores foram observados nos tratamentos T2 (SG_{20}) e T5 ($SG_{20}MO_{40}$) que receberam as maiores doses de gesso. Os teores de cálcio sofreram ligeiro aumento quando comparados a 2009/2010.

4.4. CONCLUSÕES

Não se observaram diferenças na produção de matéria seca da parte aérea entre as espécies nos dois anos de cultivo; no entanto, no ciclo 2010/2011 observou-se um aumento médio de 114% (algodão) e 89% (girassol) na produção de matéria seca, em relação ao ciclo 2009/2010, sendo um indicativo da recuperação progressiva do solo.

Com a aplicação dos tratamentos foi observado o incremento de matéria seca da parte aérea do feijão-de-corda de um cultivo para outro ;

Nas medições de condutância estomática, das taxa de fotossíntese e transpiração foram observadas diferenças apenas entre as épocas das medições;

Os teores foliares de Na^+ nas plantas de girassol e algodão foram reduzidos de um cultivo para outro, principalmente nos tratamentos com aplicação de gesso, entretanto, foi verificado que a absorção do íon Na^+ foi sempre maior na cultura algodão nos dois anos de cultivo, enquanto os teores de K^+ e Ca^{2+} foram maiores na cultura do girassol;

4.5. REFERÊNCIAS

ASHRAF, M. Salt Tolerance of Cotton: Some New Advances. **Critical Review in Plant Science**, v.21, p.1-30, 2002.

AZEVEDO NETO, A. D.; TABOSA, J. N. Estresse salino em plântulas de milho: parte II distribuição dos macronutrientes catiônicos e suas relações com sódio. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.4, n.2, p.165-171, 2000.

CAVALCANTE, L. F.; SANTOS, R. V.; HERNANDEZ, F. F. F.; GHEYI, H. R.; DIAS, T. J. Recuperação de solos afetados por sais. In: GHEYI, H. R.; DIAS, N. S.; LACERDA, C. F. **Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados**. Fortaleza: INCTSal, 2010. p.425-448.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 412 p.

FERNANDES, V. L. B. (Coord.). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado do Ceará**. Fortaleza, Universidade Federal do Ceará, 1993. 248 p.

FLOWERS, T. J. Improving crop salt tolerance. **Journal of Experimental Botany**, v.55, p.307-319, 2004.

FREIRE, M. B. G. S. *et al.* Condutividade hidráulica de solos de Pernambuco em resposta à condutividade elétrica e RAS da água de irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.7, p.45-52, 2003.

GHEYI, H. R. Problemas de salinidade na agricultura irrigada. In: OLIVEIRA, T; ASSIS JR., R. N. ROMERO, R. E.; SILVA, J. R. C. (eds.). **Agricultura, sustentabilidade e o semiárido**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000, p.329-345.

GREENWAY, H.; MUNNS, R. Mechanism of salt tolerance in nonhalophytes. **Annual review of plant physiology**, v.31, n. 01, p.149-190, 1980.

GULZAR, S.; KHAN, M. A.; UNGAR, I. A. Salt tolerance of a coastal salt marsh grass. **Soil Science Plant Anal.**, v.34, p.2595-2605, 2003.

LACERDA, C. F. Interação salinidade x nutrição mineral. In: NOGUEIRA, R. J. C. **Estresses ambientais: danos e benefícios em plantas**. Recife: UFRPE, 2005. p. 95-105.

LACERDA, C.F. *et al.* Solute accumulation and distribution during shoot leaf development in two sorghum genotypes under salt stress. **Environmental and Experimental Botany**, v.49, p.107-120, 2003.

LACERDA, C. F. *et al.* Morpho-physiological responses of cowpea leaves to salt stress. **Brazilian Journal Plant Physiology**, v.18, p.455-465, 2006.

LEAL, I. G. *et al.* Fitorremediação de solo salino sódico por *atriplex nummularia* e gesso de jazida. **Revista Brasileira Ciências do Solo**, v. 32, p.1065-1072, 2008.

LEITE, R. M. V. B. C.; BRIGHENTI, A. M.; CASTRO, C. DE. **Girassol no Brasil**. Londrina: Embrapa Soja, 2005. 613p.

LIMA, F. S. *et al.* Absorção de nutrientes e sódio pelo caupi em solos salino-sódicos corrigidos com gesso. **Caatinga**, Mossoró, v.21, n.5, p.95-101. 2008.

LV, S. *et al.* Overexpression of an H⁺-PPase gene from *Thellungiella halophila* in cotton enhances salt tolerance and improves growth and photosynthetic performance. **Plant & Cell Physiology**, v.49, n.8, p.1150-1164, 2008.

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

MARINHO, F. J. L.; FERNANDES, P. D.; GHEYI, H. R. Desenvolvimento inicial do abacaxizeiro, cv. *smooth cayenne*, sob diferentes condições de salinidade da água. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.2, p.1-5, 1998.

MONTENEGRO, A. A. A.; MONTENEGRO, S. M. G. Aproveitamento sustentável de aquíferos aluviais no Semi-Árido. In: CABRAL, J. S. P. *et al.* **Água subterrânea: Aquíferos costeiros e aluviões, vulnerabilidade e aproveitamento**. Tópicos especiais em recursos hídricos. Recife, Universidade Federal de Pernambuco, v.4. 447p. 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**, v.159, p.137-146, 2002.

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

MEURER, E.J. **Potássio**. In: FERNANDES, M.S., ed. **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa: SBCS, 2006. p.281-298.

NEVES, A. L. R. *et al.* Acumulação de biomassa e extração de nutrientes por plantas de feijão de corda irrigadas com água salina em diferentes estádios de desenvolvimento. **Ciência Rural**, v.39, n.3, p.758-765, 2009.

RIBEIRO, M.R.; FREIRE, F.J.; MONTENEGRO, A. A. A. **Solos halomórficos no Brasil: Ocorrência, gênese, classificação, uso e manejo sustentável**. In: CURI, N. *et al.* **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2003. v.3. p.165-208.

SANTOS, L.G. **Suprimento de fósforo e boro no desenvolvimento e rendimento de óleo na cultura de girassol em Latossolo Amarelo Coeso**. 79f. 2009 (Dissertação Mestrado) Cruz das Almas, Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, 2009.

SILVA, F. A. S.; AZEVEDO, C. A. V. **Principal Components analysis in the software Assistat-Statistical Attendance.** In: WORLD CONGRESS ON COMPUTERS IN AGRICULTURE, 7, Reno-NV-USA: American Society of Agricultural and Biological Engineers, 2009.

SILVA, E. N. *et al.* Acúmulo de íons e crescimento de pinhão-mansô sob diferentes níveis de salinidade. **Revista Ciência Agrônômica**, v.40, n.2, p.240-246, 2009.

SOUSA, C. H. C. *et al.* Respostas morfofisiológicas de plantas de sorgo, feijão-de-corda e algodão sob estresse salino. **Agropecuária Técnica** – v.31, n.2, p.29–36, 2010.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA. SAEG - **Sistema de análises estatísticas e genéticas.** Versão 8.0. Viçosa, 2000. 142 p. Manual do usuário.

ZHU, J. K. Regulation of ion homeostasis under salt stress. **Current Opinion in Plant Biology**, v. 06, n. 05, p. 441-445, 2003.

CAPÍTULO 5: Análise de viabilidade econômica do processo de recuperação de um solo salino-sódico em Pentecoste, Ceará

RESUMO

A pesquisa foi realizada em um lote de agricultor familiar localizada no Perímetro Irrigado Curu Pentecoste e teve como objetivo analisar, com base nos indicadores de rentabilidade da análise de investimento, a viabilidade econômica do processo de recuperação de um solo salino-sódico. O trabalho foi realizado entre os anos de 2009 e 2012, e obedeceu ao delineamento experimental em blocos casualizados, com parcelas subdivididas e com cinco repetições. Os tratamentos de recuperação foram: T1. Testemunha - apenas subsolagem, (S); T2. Subsolagem + 20 Mg ha⁻¹ de gesso, (SG₂₀); T3. Subsolagem + 40 Mg ha⁻¹ de matéria orgânica (SMO₄₀); T4. Subsolagem + 10 Mg ha⁻¹ de gesso + 20 Mg ha⁻¹ de matéria orgânica, (SG₁₀MO₂₀); T5. Subsolagem + 20 Mg ha⁻¹ de gesso + 40 Mg ha⁻¹ de matéria orgânica, (SG₂₀MO₄₀). A análise dos indicadores de rentabilidade foi realizada considerando-se os custos e/ou investimentos na recuperação do solo salino-sódico e instalação de um sistema de drenagem subterrâneo. O processo de recuperação apresentou viabilidade econômica à taxa de juros de 2% ao ano, conforme características do agricultor familiar assistido pelo Pronaf, em ambas as avaliações, no entanto, o resultado só foi possível com a contribuição do coqueiro, haja vista que a produção do algodão, girassol e feijão-de-corda não foram suficientes para amortizar os investimentos; O espaçamento de 16,0 m entre drenos laterais permitiu reduzir o período “payback” de cinco para três anos, em três dos cinco tratamentos analisados. O tratamento em que se utilizou somente a subsolagem se apresentou como a opção mais vantajosa do ponto de vista econômico. Dos tratamentos em que se utilizaram gesso e matéria orgânica, o tratamento T2 foi o que apresentou os melhores indicadores de rentabilidade.

Palavras-Chave: Drenagem subterrânea. Salinidade. Relação custo benefício.

CHAPTER 5: Analysis of the economic viability of the reclamation process of a saline sodic soil at Pentecoste, Ceará

ABSTRACT

The research was conducted in the area of family farmers located Irrigated Curu Pentecost and aimed to analyze, based on the indicators of profitability of investment analysis, economic viability of the recovery process of a saline sodic soil. The study was conducted between 2009 and 2012, and followed the experimental design randomized block with split plot with five replications .. The recovery treatments were: T1. Witness - just subsoiling (S), T2. Subsoiling + 20 Mg ha⁻¹ of gypsum (SG₂₀), T3. Subsoiling + 40 Mg ha⁻¹ of organic matter (SMO₄₀); T4. Subsoiling + 10 Mg ha⁻¹ gypsum + 20 Mg ha⁻¹ organic matter (SG₁₀MO₂₀); T5. Subsoiling + 20 Mg ha⁻¹ gypsum + 40 Mg ha⁻¹ organic matter (SG₂₀MO₄₀). The analysis of the profitability indicators was performed considering the costs and / or investments in saline sodic soil restoration and installation of an underground drainage system. The recovery process was viable economic interest at the rate of 2% per year, according to the characteristics of the family farmer assisted by Pronaf in both assessments, however, the result was only possible with the contribution of coconut, considering that the production cotton, sunflower and bean-rope were not enough to cover the investment; 16.0 m spacing between lateral drains reduced the period "payback" from five to three years, in three of the five treatments. The treatment, which used only the subsoiling is presented as the most advantageous economically. Treatments were used in gypsum and organic matter, treatment T2 was presented the best indicators of profitability.

Keywords: Subsurface drainage. Salinity. Cost benefit.

5.1. INTRODUÇÃO

A degradação dos solos se constitui um dos maiores prejuízos socioeconômicos no qual representa um enorme risco para as gerações futuras, tendo em vista que o solo é um dos recursos naturais renováveis mais importantes, pois é responsável pela ciclagem dos nutrientes e sustentabilidade de todos os demais sistemas naturais.

Dos processos de degradação ambiental, a salinização dos solos e das águas subterrâneas e superficiais está entre os mais importantes problemas. Os solos afetados por sais são encontrados, em sua maioria, nas regiões de clima árido e semiárido, onde o acúmulo de sais se dá pela rápida evapotranspiração e precipitação anual insuficiente para que ocorra a lixiviação dos sais da zona radicular. Esse problema antigo e que vem crescendo rapidamente em diversas partes do globo, tem aumentado, devido à diminuição do potencial produtivo e à adoção de práticas de manejo e procedimentos de recuperação inadequados.

De acordo com Costa *et al.* (2005) para recuperação de solos afetados por sais faz-se necessário seguir uma aplicação criteriosa de tecnologias que sejam específicas para as condições peculiares de cada região. Na recuperação de solos sódicos, que constituem os que apresentam o maior grau de degradação, deve-se fazer o uso de corretivos que contenham cálcio solúvel, bem como práticas mecânicas adequadas.

A melhoria de solos afetados pela salinidade e/ou sodicidade pode ser feita através de técnicas de natureza física ou mecânica que consiste em melhorar a estrutura do solo, utilizando as práticas de subsolagem, aração, gradagem. As de natureza química, com uso de corretivos, como cloreto de cálcio, enxofre, ácido sulfúrico e gesso, dentre outros, e as biológicas em que se usam plantas para auxiliar na melhoria física dos solos (BATISTA, 2002). A drenagem também é um componente essencial no processo de recuperação de solos afetados por sais. Muitos trabalhos têm sido desenvolvidos pelo Central Soil Salinity Research Institute no sentido de elaborar critérios para projetos de drenagem subsuperficial para solos alagados e salinos (CENTRAL... 2004).

No entanto, o processo de recuperação de solos com problemas de salinidade é bastante oneroso e a maioria dos trabalhos científicos não avalia a viabilidade financeira das tecnologias empregadas, havendo pouca informação sobre seus benefícios. Também deve-se ressaltar que a falta de uma política de governo que incentive a recuperação de solos degradados, bem como o baixo preço da terra, limitam as ações dos agricultores neste processo.

Neste contexto a análise de econômica permite avaliar a viabilidade e, além disso, avaliar o risco de insucesso e gerar informações sobre a relevância financeira do processo de recuperação do solo. Esse tipo de avaliação pressupõe a possibilidade de quantificação monetária dos insumos e produtos associados à atividade desenvolvida (NORONHA; DUARTE, 1995).

Um dos modelos de análise econômicofinanceira mais importantes e mais utilizados para avaliar ações de investimento, em termos financeiros, é o Modelo de Desconto de Fluxo de Caixa (DFC), que representa a análise, a valor presente, dos fluxos de caixa futuros líquidos gerados. Neste modelo, várias técnicas podem ser utilizadas, tais como: o valor presente líquido (VPL), que mede a riqueza gerada por um determinado ativo a valores atuais; a taxa interna de retorno (TIR), que representa a rentabilidade do projeto; a relação benefício custo (B/C), que representa a relação entre o valor presente das entradas e o das saídas de caixa; e o período de “payback” descontado (PPD), que representa o prazo de recuperação do capital investido, considerando explicitamente o valor do dinheiro no tempo. (MACEDO; LUNGA; ALMEIDA, 2007).

Este trabalho teve por objetivo avaliar através de uma análise econômica, a viabilidade do processo de recuperação de um solo salino sódico no Perímetro Irrigado Curu Pentecoste, Ceará.

5.2. MATERIAL E MÉTODOS

5.2.1. Localização e caracterização da área

A pesquisa foi realizada em área de agricultor familiar localizada no Núcleo A do Perímetro Irrigado Curu Pentecoste, no município de Pentecoste (3° 40'S; 39° 15'W, 150 m), Ceará, entre os anos de 2009 e 2012. O Perímetro estende-se às margens do Rio Curu e seus afluentes Canindé e Caxitoré, englobando uma área bruta de 4.569,39 ha, sendo 984,00 ha dotados com infraestrutura de irrigação e o restante destinado às áreas de sequeiro ou áreas mortas, pois são solos com afloramento cristalino, inundados, ou impróprios para a irrigação por motivos diversos. Segundo a classificação de Köppen (1948), a área do experimento está localizada numa região de clima do tipo BSw'h' (semiárido).

O solo da área do experimento segundo Embrapa (2006) é classificado como Neossolo Flúvico apresentando os seguintes atributos físico-químicos e hídricos, Tabela 1.

Tabela 5.1. Atributos físico-químicos e hídricos do solo antes da instalação do experimento na profundidade de 0 a 30 cm

Atributos	Unidades	Valores
Classe textural		Franco-arenosa
Ds	kg dm ⁻³	1,41
Dp	kg dm ⁻³	2,6
Uv a 0,033 MPa	m ³ m ⁻³	0,22
Uv a 1,5 MPa	m ³ m ⁻³	0,09
Ca ²⁺	cmol _c dm ⁻³	5,50
Mg ²⁺	cmol _c dm ⁻³	1,60
K ⁺	cmol _c dm ⁻³	0,18
Na ⁺	cmol _c dm ⁻³	3,44
H ⁺ + Al ³⁺	cmol _c dm ⁻³	0,0
Al ³⁺	cmol _c dm ⁻³	0,0
pH em água (1:2,5)		8,0
CE _{1:1}	dS m ⁻¹	4,0
PST	(%)	32

Ds – densidade do solo; Dp – densidade de partículas; Uv – umidade volumétrica; CE_{1:1} – condutividade elétrica do solo medida no extrato 1:1 (solo:água); PST – percentagem de sódio trocável

5.2.2. Sistema de drenagem

As operações de implantação do experimento foram iniciadas em agosto de 2009 e compreenderam uma subsolagem até a profundidade de 0,60 m, duas gradagens e uma sistematização do terreno visando facilitar as irrigações e manter a uniformidade da lâmina de água. Realizaram-se ainda a limpeza e o aprofundamento dos 135 m de dreno parcelar da área. Foi realizada a instalação de um sistema de drenagem subterrâneo composto de 10 linhas de drenos tubulares com diâmetro de 65 mm tendo como envoltório uma manta geotêxtil bidim OP 20 envelopado por uma caixa de brita Nº 1. O espaçamento das linhas de drenos foi de 8,0 m entre si e instaladas numa profundidade média de 1,10 m e declividade de 0,003 m m⁻¹. Limitações de cota de saída no desaguadouro não permitiram aprofundamento maior dos drenos laterais.

5.2.3. Delineamento experimental e tratamentos

O delineamento experimental foi em blocos casualizados, com parcelas subdivididas e com cinco repetições. As parcelas foram formadas pelos tratamentos químicos e orgânicos e as subparcelas corresponderam às rotações culturais algodão-feijão-de-corda e girassol-feijão-de-corda. Toda a área do experimento recebeu uma subsolagem numa profundidade média de 0,60 m com o propósito de romper a camada retardadora ao fluxo de água no perfil do solo. Os tratamentos estudados foram:

- T1. Testemunha - apenas subsolagem, (S);
- T2. Subsolagem + 20 Mg ha⁻¹ de gesso, (SG₂₀);
- T3. Subsolagem + 40 Mg ha⁻¹ de matéria orgânica (SMO₄₀);
- T4. Subsolagem + 10 Mg ha⁻¹ de gesso + 20 Mg ha⁻¹ de matéria orgânica, (SG₁₀MO₂₀);
- T5. Subsolagem + 20 Mg ha⁻¹ de gesso + 40 Mg ha⁻¹ de matéria orgânica, (SG₂₀MO₄₀).

As doses de gesso dos tratamentos T2 (SG₂₀) e T5 (SG₂₀MO₄₀) foram calculadas de acordo com Cavalcante *et al.* (2010), com base nos dados da Tabela 5.1 e considerando uma profundidade de 0,30 m. A dose do tratamento T4 (SG₁₀MO₂₀) correspondeu a 50% da necessidade de gesso. As aplicações do gesso e da matéria orgânica foram feitas a lanço logo após a instalação do sistema de drenagem e a incorporação através de grade aradora.

O primeiro cultivo ocorreu de setembro 2009 a janeiro de 2010 utilizando as seguintes espécies: algodão (*Gossipium hirsutum* L.) cv. BRS 187 8H e girassol (*Helianthus annuus* L.) cv. Catissol. O segundo cultivo ocorreu de setembro 2010 a janeiro de 2011, utilizando as mesmas espécies. Durante as estações chuvosas de 2010 e 2011 foi cultivado o feijão-de-corda (*Vigna unguiculata* L. Walp.), cultivar EPACE 10, utilizando-se o mesmo espaçamento entre linhas e entre plantas do algodão e girassol (0,8 x 0,3 m).

5.2.4. Indicadores de rentabilidade do processo de recuperação

A análise da viabilidade econômica do processo de recuperação do solo da área do experimento foi realizada com base nos indicadores de rentabilidade para análise de investimento: relação benefício/custo (B/C), valor presente líquido (VPL), taxa interna de retorno (TIR) e período “payback”, considerando-se os custos desde o início do processo de recuperação do referido solo juntamente com a instalação do sistema de drenagem subterrâneo mais dreno parcelar. Os benefícios foram constituídos pelos valores brutos da produção das culturas do algodão, girassol e feijão-de-corda em consórcio com o coqueiro até o segundo ano e depois somente o coqueiro até o décimo ano. Vale destacar que a cultura do coqueiro representa o principal tipo de cultivo do Perímetro. Os dados de produtividade do algodão, girassol e do feijão-de-corda foram medidos (análise ex-ante); já os dados de produtividade do coqueiro foram medidos até agosto de 2012 e estimados (análise ex-post) com base nos dados de produtividade do coqueiro no Perímetro Irrigado Curu Pentecoste.

No estudo considerou-se que o agricultor obteve financiamento para investimento e custeio junto ao Banco do Nordeste, através da linha de financiamento do Pronaf Agricultor Familiar. O Programa destina-se a agricultores familiares com enquadramento no Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar (Pronaf), que exploram parcela de terra na condição de proprietários, posseiros, arrendatários ou parceiros e possuam renda bruta anual acima de R\$ 6.000,00 e até R\$ 110.000,00, excluídos benefícios sociais e proventos previdenciários decorrentes de atividades rurais (PRONAF, 2011). O Programa ainda apresenta nas condições de amortização do contrato o qual estabelece para os investimentos um prazo de até 10 anos, com carência de até três anos e taxas de juros que variam de 1% ao ano para valor contratado de até R\$ 10 mil e 2% ao ano de R\$ 10 mil a R\$ 50 mil (PRONAF, 2011).

Todos os preços utilizados na análise econômica sejam de produtos ou de insumos foram coletados na própria região para refletir o real potencial econômico das alternativas testadas.

5.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.3.1. Avaliação econômica do processo de recuperação do solo

Na Tabela 5.2 está o demonstrativo do material e da mão-de-obra necessários para a instalação de um hectare de drenagem subterrânea para um sistema constituído por 10 linhas de drenos de 45 m cada, espaçados de 8,0 entre si, e um dreno coletor de 135 m, sendo 100 m abertos e os 35 m finais s com manilhas.

Tabela 5.2. Custo de instalação de 1,0 ha de drenagem subterrânea + dreno coletor

Material	Quantidade	Unidade	Valor unitário	Valor total
Drenagem subterrânea				
Tubos drenoflex DN 65	1080	m	4,50	4860,00
Manta bidim OP 20	272	m ²	3,71	1007,76
Brita nº 1	65	m ³	50,00	3250,00
Escavação das valas	20	h/m	80,00	1600,00
Tubos 75 mm	20	m	8,00	160,00
Mão-de-obra	22	h/d	18,00	396,00
Subtotal (A)				11273,76
Dreno coletor				
Manilhas DN 300 mm	25	um	45,00	1125,00
Esvavação	4	h/m	80,00	320,00
Mão-de-obra	8	h/d	18,00	144,00
Subtotal (B)				1589,00
TOTAL (A + B)				12862,76

*Sistema de drenagem foi instalado de forma a atender ao delineamento experimental adotado no trabalho

Na Tabela 5.3 estão apresentados os custos de recuperação de 1,0 ha do solo salino sódico para cada um dos tratamentos aplicados. Os valores observados demonstram que na composição do custo de recuperação o uso dos melhoradores químicos é relevante na composição final do referido custo. Na determinação dos preços de compra por tonelada dos

insumos foram considerados os custos de transporte até a propriedade que na ocasião ficaram em torno de R\$ 121,00 e R\$ 100,00 para o gesso e a matéria orgânica, respectivamente.

Tabela 5.3. Custo de recuperação do solo (R\$ ha⁻¹) em função dos tratamentos

Tratamentos	Subsolagem	Gesso	Matéria Orgânica	Custo de recuperação
T ₁	180,00			180,00
T ₂	180,00	2420,00		2600,00
T ₃	180,00		4.000,00	4180,00
T ₄	180,00	1.210,00	2.000,00	3390,00
T ₅	180,00	2.420,00	4.000,00	6600,00

T1. Apenas subsolagem, (S); T2. Subsolação + 20 Mg ha⁻¹ de gesso, (SG₂₀); T3. Subsolação + 40 Mg ha⁻¹ de matéria orgânica (SMO₄₀); T4. Subsolação + 10 Mg ha⁻¹ de gesso + 20 Mg ha⁻¹ de matéria orgânica, (SG₁₀MO₂₀); T5. Subsolação + 20 Mg ha⁻¹ de gesso + 40 Mg ha⁻¹ de matéria orgânica, (SG₂₀MO₄₀).

A Tabela 5.4 apresenta um demonstrativo do valor bruto da produção (VBP) gerado pelas espécies algodão, girassol e feijão-de-corda no processo de recuperação do solo salino sódico para cada um dos tratamentos aplicados nos dois anos de cultivo.

Tabela 5.4. Receita bruta média (R\$ ha⁻¹) obtida das três culturas em função dos tratamentos

Tratamentos	1º ano	2º ano
T1	3804,46	3717,41
T2	3784,09	5564,69
T3	4030,88	5309,93
T4	4030,88	5309,93
T5	5979,61	5713,85

T1. Apenas subsolação, (S); T2. Subsolação + 20 Mg ha⁻¹ de gesso, (SG₂₀); T3. Subsolação + 40 Mg ha⁻¹ de matéria orgânica (SMO₄₀); T4. Subsolação + 10 Mg ha⁻¹ de gesso + 20 Mg ha⁻¹ de matéria orgânica, (SG₁₀MO₂₀); T5. Subsolação + 20 Mg ha⁻¹ de gesso + 40 Mg ha⁻¹ de matéria orgânica, (SG₂₀MO₄₀).

5.3.2. Análise dos indicadores de rentabilidade

Os elementos econômicos para cálculo dos indicadores de rentabilidade para cada um dos tratamentos aplicados são apresentados nas Tabelas 5.5, 5.6, 5.7, 5.8 e 5.9 considerando-se um horizonte de dez anos. As receitas foram compostas no primeiro ano pelo valor bruto da produção (VBP) das culturas do algodão, girassol e feijão-de-corda; no segundo pelo (VBP) das três culturas mais o da produção do coqueiro; e a partir do terceiro ano pelo VBP da cultura do coqueiro. Quanto aos custos do processo de recuperação eles se

compuseram no ano zero, do custo de instalação do sistema de drenagem acrescido do custo de recuperação do solo conforme os dados contidos na Tabela 5.4. Nos anos um e dois constituíram-se dos custos de produção das culturas do algodão, girassol e feijão-de-corda, juros do serviço da dívida e custo de manutenção cultura do coqueiro uma vez que a mesma já estava instalada na área há dois anos. No terceiro ano pelo de manutenção da cultura do coqueiro e o juro do serviço da dívida; do quarto ao décimo anos, do custo de manutenção da cultura do coqueiro e respectivas amortizações.

Tabela 5.5. Dados para o cálculo dos indicadores de rentabilidade do Tratamento T1

Ano	Valores Nominas (R\$)			F.D* (r=2%)	Valores Atualizados (R\$)	
	C. Oper. + S. Dívida	Investimento	Receitas		C. Totais	Receitas
0		13042,76		1,0000	13042,76	
1	6294,308		3804,46	0,9804	6170,89	3729,87
2	6294,308		5912,76	0,9612	6049,89	5683,16
3	2379,158		9421,86	0,9423	2241,93	8878,43
4	4485,593		9421,86	0,9238	4143,99	8704,34
5	4443,464		9421,86	0,9057	4024,58	8533,67
6	4401,335		9421,86	0,8880	3908,26	8366,34
7	4359,207		9421,86	0,8706	3794,95	8202,30
8	4317,078		9421,86	0,8535	3684,58	8041,47
9	4274,949		9421,86	0,8368	3577,09	7883,79
10	4232,821		9421,86	0,8203	3472,39	7729,21
Total	45482,22		85092,10		54111,32	75752,57

*F D: Fator de desconto

Tabela 5.6. Dados para o cálculo dos indicadores de rentabilidade do Tratamento T2

Ano	Valores Nominas (R\$)			F.D* (r=2%)	Valores Atualizados (R\$)	
	C. Oper. + S. Dívida	Investimento	Receitas		C. Totais	Receitas
0		15462,76		1,0000	15462,76	
1	6342,708		3784,09	0,9804	6218,34	3709,89
2	6342,708		7760,04	0,9612	6096,41	7458,70
3	2427,558		9421,86	0,9423	2287,54	8878,43
4	4802,882		9421,86	0,9238	4437,12	8704,34
5	4755,375		9421,86	0,9057	4307,09	8533,67
6	4707,869		9421,86	0,8880	4180,45	8366,34
7	4660,362		9421,86	0,8706	4057,13	8202,30
8	4612,856		9421,86	0,8535	3937,03	8041,47
9	4565,349		9421,86	0,8368	3820,08	7883,79
10	4517,843		9421,86	0,8203	3706,20	7729,21
Total	47735,51		86919,00	-	58510,16	77508,14

*F D: Fator de desconto

Tabela 5.7. Dados para o cálculo dos indicadores de rentabilidade do Tratamento T3

Ano	Valores Nominas (R\$)			F.D* (r=2%)	Valores Atualizados (R\$)	
	C. Oper. + S. Dívida	Investimento	Receitas		C. Totais	Receitas
0		17042,76		1,0000	17042,76	
1	6374,308		4030,88	0,9804	6249,32	3951,84
2	6374,308		7505,27	0,9612	6126,79	7213,83
3	2459,158		9421,86	0,9423	2317,32	8878,43
4	5010,037		9421,86	0,9238	4628,50	8704,34
5	4959,020		9421,86	0,9057	4491,54	8533,67
6	4908,002		9421,86	0,8880	4358,17	8366,34
7	4856,984		9421,86	0,8706	4228,30	8202,30
8	4805,967		9421,86	0,8535	4101,85	8041,47
9	4754,949		9421,86	0,8368	3978,73	7883,79
10	4703,932		9421,86	0,8203	3858,86	7729,21
Total	49206,67		86911,03	-	61382,12	77505,22

*F D: Fator de desconto

Tabela 5.8. Dados para o cálculo dos indicadores de rentabilidade do Tratamento T4

Ano	Valores Nominas (R\$)			F.D* (r=2%)	Valores Atualizados (R\$)	
	C. Oper. + S. Dívida	Investimento	Receitas		C. Totais	Receitas
0		16252,76		1,0000	16252,76	
1	6358,508		4078,20	0,9804	6233,83	3998,24
2	6358,508		7696,03	0,9612	6111,60	7397,18
3	2443,358		9421,86	0,9423	2302,43	8878,43
4	4906,459		9421,86	0,9238	4532,81	8704,34
5	4857,197		9421,86	0,9057	4399,31	8533,67
6	4807,935		9421,86	0,8880	4269,31	8366,34
7	4758,673		9421,86	0,8706	4142,71	8202,30
8	4709,411		9421,86	0,8535	4019,44	8041,47
9	4660,149		9421,86	0,8368	3899,40	7883,79
10	4610,887		9421,86	0,8203	3782,53	7729,21
Total	48471,09		87149,11	-	59946,14	77734,96

*F D: Fator de desconto

Tabela 5.9. Dados para o cálculo dos indicadores de rentabilidade do Tratamento T5

Ano	Valores Nominas (R\$)			F.D* (r=2%)	Valores Atualizados (R\$)	
	C. Oper. + S. Dívida	Investimento	Receitas		C. Totais	Receitas
		19462,76		1,0000	19462,76	
1	6422,708		5979,61	0,9804	6296,77	5862,37
2	6422,708		7909,19	0,9612	6173,31	7602,07
3	2507,558		9421,86	0,9423	2362,93	8878,43
4	5327,326		9421,86	0,9238	4921,63	8704,34
5	5270,931		9421,86	0,9057	4774,04	8533,67
6	5214,535		9421,86	0,8880	4630,36	8366,34
7	5158,140		9421,86	0,8706	4490,47	8202,30
8	5101,745		9421,86	0,8535	4354,29	8041,47
9	5045,349		9421,86	0,8368	4221,72	7883,79
10	4988,954		9421,86	0,8203	4092,68	7729,21
Total	51459,95		89263,68	-	65780,96	79803,98

*F D: Fator de desconto

Os indicadores de rentabilidade do processo de recuperação, relação benefício/custo (B/C), valor presente líquido (VPL) e taxa interna de retorno (TIR) para cada tratamento analisado considerando-se uma taxa de desconto de 2% ao ano são apresentados na Tabela 5.10.

Tabela 5.10. Relação benefício/custo (B/C), valor presente líquido (VPL) e taxa interna de retorno (TIR) para cada tratamento analisados

Tratamentos	B/C	VPL (R\$)	TIR (%)
T1	1,40	R\$ 21.641,24	16,44%
T2	1,32	R\$ 18.997,98	13,87%
T3	1,26	R\$ 16.123,10	11,33%
T4	1,30	R\$ 17.788,82	12,80%
T5	1,21	R\$ 14.023,02	9,82%

T1. Apenas subsolagem, (S); T2. Subsolagem + 20 Mg ha⁻¹ de gesso, (SG₂₀); T3. Subsolagem + 40 Mg ha⁻¹ de matéria orgânica (SMO₄₀); T4. Subsolagem + 10 Mg ha⁻¹ de gesso + 20 Mg ha⁻¹ de matéria orgânica, (SG₁₀MO₂₀); T5. Subsolagem + 20 Mg ha⁻¹ de gesso + 40 Mg ha⁻¹ de matéria orgânica, (SG₂₀MO₄₀).

Conforme a Tabela 5.10 verifica-se que todos os tratamentos apresentaram VPL positivo e TIR superior à taxa de desconto de 2% (PRONAF). Os valores encontrados para a relação benefício/custo foram superiores à unidade, ou seja, benefícios esperados maiores que os custos. No entanto, os melhores resultados foram obtidos pelos tratamentos T1, T2 e T4, portanto os que apresentaram os menores custos. Analisando o fluxo de caixa de todos os tratamentos verificou-se também, que os tratamentos T1, T2 e T4 atingiram o “payback” entre cinco e seis anos.

A taxa interna de retorno (TIR) variou de 9,82% no tratamento T5 com maior custo de recuperação a 16,44% no tratamento T1, significando que o capital alocado no projeto suporta uma elevação da taxa de desconto até esses respectivos valores ao ano, para cada ano do horizonte de análise do projeto. Nessas condições, o referido investimento só será inviável se a taxa média de juros de mercado atingir valores superiores aos das referidas taxas interna de retorno.

Araújo *et al.* (2011) avaliando o processo de recuperação de um solo sódico utilizando os mesmos melhoradores mas sem a instalação do sistema de drenagem obtiveram viabilidade econômica a uma taxa de juros de 12% ao ano, considerando um período “payback” de nove anos. Estudando indicadores de rentabilidade da recuperação de um solo

sódico no Vale do Curu, Ceará, Costa *et al.* (2005) também verificaram a viabilidade do processo de recuperação do solo.

Barla (1998) em análise econômico-financeira de drenagem subterrânea em terras retas do Comando Chambal Índia, assumindo um capital investido Rs. 34250 por ha a uma taxa de desconto de 12% e obteve relação (B/C) de 2.6, (VPL) por ha: Rs. 54900 taxa interna de retorno (TIR) 28%. Segundo o autor a análise indica que o sistema de drenagem subsuperficial é um método econômico para recuperar terras alagadas e/ou salina. Tejawat (2007) sugere que este sistema pode ser adotado em outras áreas de Rajasthan e Índia.

No sentido de verificar o comportamento dos indicadores de rentabilidade com a instalação do sistema de drenagem espaçado de 16 m entre linhas, espaçamento esse permitido de acordo com a condutividade hidráulica do solo e admitindo uma redução média de 8% na produtividade das culturas de algodão, girassol e feijão, observadas no tratamento testemunha para este espaçamento, realizou-se uma análise de sensibilidade cujos resultados são apresentados na Tabela 5.11.

Tabela 5.11. Relação benefício/custo (B/C), valor presente líquido (VPL) e taxa interna de retorno (TIR) para cada tratamento analisado

Tratamentos	B/C	VPL (R\$)	TIR (%)
T1	1,809	R\$ 33.865,67	32,26%
T2	1,682	R\$ 31.435,09	27,41%
T3	1,588	R\$ 28.712,86	23,41%
T4	1,639	R\$ 30.302,26	25,70%
T5	1,507	R\$ 26.846,60	21,28%

T1. Apenas subsolagem, (S); T2. Subsolagem + 20 Mg ha⁻¹ de gesso, (SG₂₀); T3. Subsolagem + 40 Mg ha⁻¹ de matéria orgânica (SMO₄₀); T4. Subsolagem + 10 Mg ha⁻¹ de gesso + 20 Mg ha⁻¹ de matéria orgânica, (SG₁₀MO₂₀); T5. Subsolagem + 20 Mg ha⁻¹ de gesso + 40 Mg ha⁻¹ de matéria orgânica, (SG₂₀MO₄₀).

Os resultados obtidos na segunda avaliação demonstram uma situação ainda mais favorável dos indicadores de rentabilidade. Com a redução do custo do sistema de drenagem e mesmo com uma redução de cerca de 8% na produção das culturas os indicadores tiveram aumentos consideráveis atingindo taxas de retorno de até 32,26% e relação B/C de 1,80 como é o caso do tratamento T1. O VPL variou de R\$ 26.846,60 a R\$ 33.865,67 respectivamente para os tratamentos T5 e T1. Para essa avaliação também foi observado a redução do período “payback” que na simulação anterior ficou entre 5 e 6 anos e nessa avaliação foi atingido entre 3 e 4 anos para todos os tratamentos.

Valdivieso, Félix e Cordeiro(1988) obtiveram, em avaliação econômica da recuperação de solos salinos no Perímetro Irrigado de Vaza-Barris, Cocorobó, BA, valores de B/C iguais a 2,98 e TIR igual a 88,4%. Chinnapa e Nagaraj (2007), em avaliação econômica do impacto das intervenções públicas para melhoria da degradação dos solos afetados por sais através da tecnologia de drenagem subterrânea em Karnataka, Índia obtiveram valores de taxa de juros de 15% ao ano, a relação (B/C) de 1,54; o VPL de Rs (rúpias) 127.624 um “payback” de 0,58 ano. Os autores ressaltam que o governo deve ter um papel de incentivador e educador para os agricultores quanto à adoção da tecnologia de drenagem subterrânea, em grande escala.

5.4. CONCLUSÕES

O processo de recuperação apresentou viabilidade econômica à taxa de juros de 2% ao ano, de acordo com as características do agricultor familiar assistido pelo Pronaf, em ambas as avaliações, no entanto, o resultado só foi possível com a contribuição do coqueiro, haja vista que produção do algodão, girassol e feijão-de-corda não foram suficientes para amortizar os investimentos;

O espaçamento de 16,0 m entre drenos laterais permitiu reduzir o período “payback” de cinco para três anos, em três dos cinco tratamentos analisados;

O tratamento em que se utilizou somente a subsolagem se apresentou como a opção mais vantajosa do ponto de vista econômico;

Dos tratamentos que se utilizaram gesso e matéria orgânica, o tratamento T2 foi o que apresentou os melhores indicadores de rentabilidade;

Entende-se que o processo de recuperação de solos salinizados é bastante lento e oneroso, portanto, oportunamente seria interessante a realização de novas análises de sensibilidade, considerando a necessidade da continuidade da aplicação de melhoradores químicos durante o horizonte de tempo da análise.

5.5. REFERÊNCIAS

ARAÚJO, A. P. B. *et al.* Análise econômica do processo de recuperação de um solo sódico no Perímetro Irrigado Curu-Pentecoste, CE. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** v.15, n.4, p.377–382, 2011.

BARLA, C. S. **Economic and financial analysis of subsurface drainage in black soils of Chambal Command**. Keynote papers, National Seminar on Socio-economical Aspects of Subsurface Drainage and Water Management, v.2, Rajad, Kota, India. 1998.

BATISTA, M. de J. *et al.* **Drenagem como instrumento de dessalinização e prevenção da salinização de solos**. 2 ed. Brasília: CODEVASF, 2002, 216p.

CAVALCANTE, L. F. *et al.* Recuperação de solos afetados por sais. *In*: GHEYI, H. R.; DIAS, N. S.; LACERDA, C. F. **Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados**. Fortaleza: INCTSal, 2010. p.425-448.

CENTRAL SOIL SALINITY RESEARCH INSTITUTE. Use of poor quality water. *In*: _____. **Reclamation and management of salt-affected soils**. – Karnal (Haryana) Índia, 2004. p.91-121.

CHINNAPA, B.; NAGARAJ, N. An economic analysis of public interventions for amelioration of irrigation-induced soil degradation. **Agricultural Economics Research Review**, v.20, p.375-384, 2007.

COSTA, R. N. T. *et al.* Indicadores econômicos da recuperação de um solo sódico em condições de drenagem subterrânea no Vale do Curu, CE. **Irriga**, v.10, p.272-278, 2005.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Rio de Janeiro, 1999. 412 p.

KÖPPEN, N. W. **Climatologia: Con un estudio de los climas de la tierra**. México: Fondo de Cultura Económica, 1948. 478p.

MACEDO, M. A. S.; LUNGA, A.; ALMEIDA, K. **Análise de viabilidade econômico-financeira de projetos agropecuários: o caso da implantação de um projeto de produção de produtos apícolas**. *In*: XLV CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO E SOCIOLOGIA RURAL. Londrina, 2007.

NORONHA, J. F.; DUARTE, L. Avaliação de projetos de investimentos na empresa agropecuária. *In*: AIDAR, A. C. K. **Administração Rural**. São Paulo: Paulicéia, 1995.

PRONAF - **Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar**. Cartilha de Acesso ao PRONAF. Saiba como obter crédito para a agricultura familiar. Brasília/DF, 2011.

TEJAWAT, C. M. Reclamation of Waterlogged Saline Soils through Drainage in Chambal Command Area, Rajasthan. *In*: AMBAST, S. K.; GUPTA, S. K.; SINGH, GURBACHAN. **Agricultural Land Drainage: Reclamation of Waterlogged Saline Lands**. Central Soil Salinity Research Insitute, Karnal, India, p, 231, 2007.

VALDIVIESO, C. R.; FÉLIX, S. G.; CORDEIRO, G. G. **Avaliação econômica da recuperação de solos salinos no perímetro de Vaza-Barris-Cocorobó, BA.** Petrolina: Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Semi-Árido/EMBRAPA, 1988. 16p. Documentos, N.48.