



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO**  
**DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS AMBIENTAIS E TECNOLÓGICAS**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM MANEJO DE SOLO E ÁGUA**

**PEDRO RAMUALYSON FERNANDES SAMPAIO**

**CROTALÁRIA JUNCEA COMO ADUBO VERDE EM SISTEMAS**  
**AGRÍCOLAS IRRIGADOS**

**MOSSORÓ/RN**  
**FEVEREIRO/2014**

PEDRO RAMUALYSON FERNANDES SAMPAIO

**CROTALÁRIA JUNCEA COMO ADUBO VERDE EM SISTEMAS  
AGRÍCOLAS IRRIGADOS**

Dissertação apresentada a Universidade Federal Rural do Semi-Árido, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Manejo de Solo e Água.

Orientador: Neyton de Oliveira Miranda, D. Sc.

Co-orientador: José Francismar de Medeiros. D. Sc

**MOSSORÓ/RN  
FEVEREIRO/2014**

PEDRO RAMUALYSON FERNANDES SAMPAIO

**CROTALÁRIA JUNCEA COMO ADUBO VERDE EM SISTEMAS  
AGRÍCOLAS IRRIGADOS**

Dissertação apresentada a Universidade  
Federal Rural do Semi-Árido, como parte  
das exigências para obtenção do título de  
Mestre em Manejo de Solo e Água.

APROVADA EM: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

---

D. Sc. Neyton de Oliveira Miranda  
UFERSA  
Orientador

---

D.Sc. José Francismar de Medeiros  
UFERSA  
Co-Orientador

---

D.Sc. Gualter Guenther Costa da Silva  
UFRN  
Conselheiro

*À minha mãe, **Maria do Socorro Fernandes Sampaio** (in memoriam), ao meu Pai, **Raimundo Guedes Sampaio**, pelo amor, dedicação e pelo incentivo durante toda a minha vida, o que fez com que esta etapa se tornasse uma realidade.*

*Às minhas irmãs **Márcia, Ana, Macilene** e **Kele** por todo amor e apoio que serviram de base para sempre seguir em frente;*

*Às minhas sobrinhas **Pâmela, Hortência, Maria, Esther**, e meu sobrinho **Aquiles**, por serem a razão maior de minhas conquistas.*

**Dedico**

## AGRADECIMENTOS

À **Deus** por guiar meus passos, iluminar meus caminhos e me conduzir pela fé;

À **Universidade Federal Rural do Semi-Árido** e o **Programa de Pós-Graduação em Manejo de Solo e Água** pelos momentos únicos vividos durante a graduação e pós-graduação, pelos ensinamentos prestados e pela oportunidade da missão de estudos na ESALQ/USP;

À **Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES)** pela concessão da bolsa de estudos.

Ao meu orientador **Dr. Neyton de Oliveira Miranda** pela simplicidade de sua sabedoria, pela paciência, pelo apoio que sempre me deu na realização desse trabalho e principalmente por sua amizade;

Ao meu co-orientador **Dr. José Francismar de Medeiros** pelo apoio, pela grande paciência e pela sabedoria doada em todos os momentos;

Ao conselheiro **Gualter Guenther Costa da Silva** pelas contribuições dadas a este trabalho;

Aos professores **Jeane Portela, Carolina Malala, José Espínola, Rafael Batista, Nildo Dias e Eulene Silva** pelo grande apoio, simplicidade, amizade e ensinamentos repassados;

À **Ismaelita Fernandes, Íria Fernandes, Edna Leite e Monalisa Fernandes**, pelo amor e carinho incondicional. Serei eternamente grato;

Ao grupo de pesquisa que não mediu esforços para realização deste trabalho, em especial: **Rozana Lima, Flaviano Barbosa, Joana D'arc, Isabel Giovana, Mariana Samira, Jonathan Levi, Juliana Pamplona, Emanuel Nascimento**; e ao grande apoio nos trabalhos de campo pelos amigos: **Aline Silva, Daniel Galvão, Marcos Campos e Flabênio**;

Ao grande amigo **Andygley Fernandes** pela amizade verdadeira, pelas lutas vencidas, e pelo crescimento intelectual e profissional ao qual fomos conduzidos juntos durante os anos de graduação e pós-graduação;

Às grandes amigas **Karen Mariany** e **Ana Cláudia Medeiros**, pela irmandade, cumplicidade, por aguentarem minhas folgas, brincadeiras, estresses, e por cuidarem tão bem de mim;

Aos grandes amigos da Graduação pela união, cumplicidade, preocupação e incentivos para enfrentarmos nossos objetivos com garra e determinação. Por todos os caminhos que percorrermos, independente da direção, sei que estaremos ligados por nossos corações: **Emanuela Paiva, Monique Cristina, Daniela Marques, João Paulo Almeida e Lilia Sousa;**

Aos amigos da Pós-Graduação em MSA e do LASAP/UFERSA que sempre estiveram nesta caminhada ao meu lado, compartilharam dificuldades, experiências e, principalmente, muitas alegrias: **Laiane Nascimento, Jussiara Sonally, Mikhael Rangel, Mairana Moraes, Wesley Santos, Gledson Góes, Luiz Eduardo, Ketson Bruno, Ana Kaline, Cecília Sinclair, Daiane Ariane, Débora Ramalho, Dona Edna, Lianelle e Edson Franklen;**

Aos tios queridos, primos e toda minha família, pela confiança depositada e presença constante; e aos amigos de longa caminhada pelos momentos vividos e por estarem sempre comigo, dividindo sonhos e esperanças: **Thalita Cavalcante, Antonio Anax, Regina Célia, André Sândulo, Renata Brasil, Pâmela Jácome, Hévila Neri, Amanda Keille, Rayane Sampaio, Dayane Sampaio, Margarida Sampaio, Renata Fernandes, Roberta Fernandes e Neidiana Fernandes.**

À **ESALQ/USP** pela oportunidade da Missão de estudos, em especial aos Drs. **Sérgio Nascimento Duarte** e **Jarbas Honório de Miranda**, profissionais exemplares;

Aos doutorandos **Osvaldo de Souza Neto, Ana Luiza Ferreira, Jefferson Vieira José, Bruno Almeida, Haynna Abud, Nayara Gonçalves e Luiz Francisco Souza Filho** da **ESALQ/USP**, pelo incentivo, exemplo de luta e pela grande amizade;

A todas as pessoas que de forma direta ou indireta contribuíram para meu crescimento pessoal e profissional.

*Um amigo fiel é uma poderosa proteção: quem o achou, descobriu um tesouro;*

*Eclesiástico 6:14.*

**Muito Obrigado!**

*“Dificuldades preparam pessoas  
comuns para destinos  
extraordinários”*

**C. S. Lewis**

*“Minhas ideias levaram as pessoas a  
reexaminar a física de Newton.  
Naturalmente, alguém um dia irá  
examinar minhas próprias ideias. Se isto  
não acontecer, haverá uma falha  
grosseira em algum lugar.”*

**Albert Einstein**

*“Meu aprendizado é constante. E  
não me envergonho em dizer que  
depois de tantos anos, me  
considero como mero aprendiz que  
continua a trilhar os caminhos da  
vida.”*

**L. L. Santos**

## RESUMO

O cultivo de *Crotalaria juncea* L. para adubação verde em condições semiáridas também requer irrigação e, sabendo que o uso de água salobra ou cultivo em solos salinizados podem afetar o crescimento das plantas, sua utilização pode atuar diretamente sobre a recuperação da qualidade dessas áreas. O trabalho objetivou avaliar a variabilidade espacial da crotalaria juncea e características químicas do solo, bem como o balanço hídrico da cultura, sob efeito residual de níveis de salinidade e doses de nitrogênio. O experimento foi realizado na Fazenda Experimental Rafael Fernandes, da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), Mossoró, RN, Brasil. Em anos anteriores, a área experimental recebeu seis experimentos consecutivos com diferentes culturas, em delineamento de blocos ao acaso, com parcelas subdivididas 5 x 3, correspondentes a níveis de salinidade e doses de nitrogênio, com quatro repetições. As variáveis estudadas foram: altura de plantas em seis datas após semeadura, massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca da raiz (MSR), massa seca total (MST); atributos químicos do solo nas profundidades de 0,00-0,15 m e 0,15-0,30 m; e a evapotranspiração da cultura. Os resultados de planta e solo foram submetidos à análise de variância do efeito residual e, em seguida, ao estudo da variabilidade espacial das variáveis por meio de técnicas geoestatísticas. A evapotranspiração foi obtida por meio do intervalo de confiança para média com 95% de probabilidade dos kc's até o estágio de florescimento da cultura. A análise da variância não indicou efeito residual significativo dos níveis de salinidade e doses de Nitrogênio no solo sobre as variáveis de crescimento e de massa seca da crotalaria juncea, porém, o uso de técnicas geoestatísticas permitiu localizar regiões no campo com diferentes valores das variáveis estudadas. Nas duas profundidades do solo, foi constatado efeito residual para as doses de nitrogênio e níveis de salinidade da água; e após a incorporação do adubo verde, houve um acréscimo do Mg e do N total do solo na camada superficial. As características químicas apresentaram dependência espacial nas duas profundidades. A crotalaria juncea apresentou maior consumo de água para o menor nível de salinidade residual (S1) em todas as fases, embora o consumo no maior nível (S5) tenha sido próximo aos obtidos pelo menor resíduo, denotando tolerância da leguminosa ao longo do cultivo.

**Palavras-chave:** Adubação verde. Dependência espacial. Consumo de água.



## ABSTRACT

Growing *Crotalaria juncea* L. green manure in semi-arid conditions also requires irrigation and, knowing that the use of brackish or saline soil cultivation can affect plant growth, its use can directly act on the recovery of the quality of these areas. The study aimed to evaluate the spatial variability of *crotalaria juncea* and chemical characteristics of the soil and the water balance of culture under the residual effect of levels of salinity and nitrogen levels. The trial was carried out at Rafael Fernandes Farm, of Federal Rural University of Semiarid (UFERSA), Mossoró, RN, Brazil. In past years the experimental area received six consecutive trials with different crops, which experimental design was a randomized blocks with split plots 5 x 3 corresponding to salinity levels and nitrogen doses, and four replications. Variables determined were: plant height in six dates after seeding, shoot dry mass (MSPA), root dry mass (MSR), whole plant dry mass (MST); soil chemical attributes at 0,00-0,15 m and 0,15-0,30 m depths; and the crop evapotranspiration. The results of plant and soil were subjected to analysis of variance and the residual effect, than to a study of spatial variability by means of geostatistics. Evapotranspiration was obtained by means of the confidence interval for mean with 95% probability of kc's until the flowering stage of the crop. The analysis of variance indicated no significant residual effect of salinity levels and doses of nitrogen in soil on the growth variables and dry weight of *crotalaria juncea*, however, the use of geostatistical techniques allowed the field to locate regions with different values of the studied variables. In both soil depths residual effect was found for nitrogen and salinity levels of the water; and after green manure incorporation, there was an increase of Mg and total N in the surface layer. The chemical characteristics presented spatial dependence at both depths. The sunn hemp showed higher water consumption to the less level of residual salinity (S1) at all stages, while the consumption more level in (S5) has been close to those obtained at the lower residue, denoting tolerance along the legume cultivation.

**Keywords:** Green manure. Spatial dependence. Water consumption.

## LISTA DE FIGURAS

**CAPÍTULO 1** - Variabilidade espacial de crotalária juncea sob efeito residual de níveis de nitrogênio e salinidade da água.

Figura 1. Croqui da área experimental, localizada na Fazenda experimental Rafael Fernandes, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró-RN, 20128.....	28
Figura 2. Avaliação de crescimento semanal da <i>Crotalaria juncea</i> L. (A) uso de régua para medição das plântulas; (B) Uso de trena para medição de plantas; na Fazenda experimental Rafael Fernandes, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró-RN, 2014.....	29
Figura 3. (A) Coleta de plantas para avaliação de massa seca da parte aérea; (B) Raíz de crotalária juncea para avaliação da massa seca; (C) Bactérias do gênero <i>Rhizobium</i> ; (D) Pesagem da massa seca da raiz. Mossoró-RN, 2014.....	30
Figura 4. Fase de pleno florescimento da <i>Crotalaria juncea</i> L. na Fazenda experimental Rafael Fernandes, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró-RN, 2014...	30
Figura 5. Mapas de isovalores das variáveis de crescimento semanal da <i>Crotalaria juncea</i> aos (A) 21 DAS, (B) 28 DAS, (C) 35 DAS, (D) 42 DAS, (E) 49 DAS e (F) 56 DAS. Mossoró, 2014 .....	38
Figura 6. Mapas de isovalores das variáveis (A) MSPA, (B) MSR, (C) MST na área de amostragem. Mossoró, 2014.....	40

**CAPÍTULO 2** – Adubo verde indicando variabilidade espacial de atributos químicos do solo e efeito residual de níveis de salinidade e doses nitrogênio.

Figura 1. Croqui da área experimental, localizada na Fazenda experimental Rafael Fernandes, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró-RN, 2014 .....	53
Figura 2. Fase de pleno florescimento da <i>Crotalaria juncea</i> L. na Fazenda experimental Rafael Fernandes, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró-RN, 2014...	54
Figura 3. Mapas de isovalores do teor de MOS na área de amostragem ( $\text{g kg}^{-1}$ ) nas camadas (A) 0 a 15 cm e (B) 15 a 30 cm .....	68

Figura 4. Mapas de isovalores das variáveis N ( $\text{g kg}^{-1}$ ) nas camadas de (C) 0 a 15 cm e (D) 15 a 30 cm; P ( $\text{mg dm}^{-3}$ ) nas camadas de (E) 0 a 15 cm e (F) 15 a 30 cm; e K ( $\text{cmolc dm}^{-3}$ ) nas camadas (G) de 0 a 15 cm e (H) de 15 a 30 cm, na área de amostragem. ....	69
Figura 5. Mapas de isovalores das variáveis Ca ( $\text{cmolc dm}^{-3}$ ) nas camadas de (I) 0 a 15cm e (J) de 15 a 30cm e Mg ( $\text{cmolc dm}^{-3}$ ) nas camadas (K) de 0 a 15cm e (L) de 15 a 30cm, na área de amostragem.....	70
Figura 6. Mapas de isovalores das variáveis Na ( $\text{cmolc dm}^{-3}$ ) nas camadas (M) de 0 a 15 cm e (N) 15 a 30 cm e CE ( $\text{dS m}^{-1}$ ) nas camadas de (O) 0 a 15 cm e (P) de 15 a 30 cm, na área de amostragem.....	71
Figura 7: Mapas de isovalores de duas profundidades da variável (Q) pH – 15 cm e (R) pH – 30 cm, na área de amostragem. Mossoró, 2014.....	71

**CAPÍTULO 3** - Exigências climáticas e consumo de água no cultivo de crotalária juncea como adubo verde.

Figura 1. Plantas de <i>Crotalária juncea</i> L. afetadas por fusarium em um Lisímetro pesagem (S5). Mossoró-RN, 2014 .....	85
Figura 2. Processo de instalação dos lisímetros de pesagem, (A e B) instalação das balanças mecânicas; (C e D) Instalação da caixa metálica; (E) preenchimento dos lisímetros; (F) disposição do lisímetro em campo com a <i>Crotalária juncea</i> L. Mossoró/RN, 2014 .....	88
Figura 3. Avaliação dos fatores de cobertura (A) e de molhamento (B) nos lisímetros de pesagem.. Mossoró, 2014 .....	89
Figura 4. Temperaturas do ar média (T <sub>méd</sub> ), máxima (T <sub>máx</sub> ) e mínima (T <sub>mín</sub> ), encontradas durante o ciclo da <i>Crotalária juncea</i> L.. Mossoró, 2014. ....	90
Figura 5. Umidades Relativas Médias (UR <sub>méd</sub> ), máximas (UR <sub>máx</sub> ) e mínimas (UR <sub>mín</sub> ), encontradas durante o ciclo da <i>Crotalária juncea</i> L.. Mossoró, 2014.....	91
Figura 6. Velocidade do vento média e radiação global encontrados durante o ciclo da <i>Crotalária juncea</i> L.. Mossoró, 2014.....	92
Figura 7. Evapotranspiração da <i>Crotalária juncea</i> L. no nível de salinidade S1 (ET <sub>c_S1</sub> ) e no nível S5 (ET <sub>c_S5</sub> ), e de referência (ET <sub>o_FAO</sub> ). Mossoró, 2014.....	95
Figura 8. Coeficiente de cultura médio da <i>Crotalária juncea</i> L. do nível de salinidade S1. Mossoró, 2014.....	96

Figura 9. Coeficiente de cultura médio da <i>Crotalaria juncea</i> L. do nível de salinidade S5. Mossoró, 2014.....	97
---	----

## LISTA DE TABELAS

### **CAPÍTULO 1** - Variabilidade espacial de crotalaria juncea sob efeito residual de níveis de nitrogênio e salinidade da água.

Tabela 1: Histórico das culturas, doses de nitrogênio e níveis de salinidade utilizados na área experimental antes do plantio de <i>Crotalaria juncea</i> L. em Mossoró–RN, 2014.....	26
Tabela 2. Caracterização físico-químicas do solo da área experimental antes do plantio de <i>Crotalaria juncea</i> L. em Mossoró– RN. UFERSA, 2014 .....	27
Tabela 3. Análise de variância da altura da <i>Crotalaria juncea</i> L. sob efeito residual dos fatores salinidade e nitrogênio, avaliado em semanas consecutivas. ....	33
Tabela 4. Análise de variância da massa seca da parte aérea, de raízes, e total da <i>Crotalaria juncea</i> L. sob efeito residual dos fatores salinidade e nitrogênio.....	34
Tabela 5. Estatística descritiva de evolução semanal da altura de plantas de <i>Crotalaria juncea</i> L. dos 21 aos 56 DAS. ....	35
Tabela 6. Estatística descritiva da Massa Seca da Parte Aérea (MSPA), Massa Seca da Raíz (MSR) e Massa Seca total (MST) da <i>Crotalaria juncea</i> L. ....	35
Tabela 7. Parâmetros dos modelos ajustados aos semivariogramas isotrópicos para o Crescimento semanal da <i>Crotalaria juncea</i> L. dos 21 aos 56 DAS.....	36
Tabela 8. Parâmetros dos modelos ajustados aos semivariogramas isotrópicos de Massa Seca da Parte Aérea (MSPA), Massa Seca da Raíz (MSR) e Massa Seca total (MST) da <i>Crotalaria juncea</i> L. ....	37

### **CAPÍTULO 2** – dubo verde indicando variabilidade espacial de atributos químicos do solo e efeito residual de níveis de salinidade e doses nitrogênio.

Tabela 1: Histórico das culturas, doses de nitrogênio e níveis de salinidade utilizados na área experimental antes do plantio de <i>Crotalaria juncea</i> L. em Mossoró–RN, 2014.....	51
Tabela 2. Caracterização físico-químicas do solo da área experimental antes do plantio de <i>Crotalaria juncea</i> L. em Mossoró– RN. UFERSA, 2014 .....	52

Tabela 3. Análise de variância de atributos químicos do solo em duas profundidades estudadas antes do plantio da <i>Crotalaria juncea</i> L. ....	57
Tabela 4. Comparação de médias de atributos químicos das duas profundidades estudadas antes do plantio da <i>Crotalaria juncea</i> L. ....	58
Tabela 5. Análise de variância de atributos químicos do solo em duas profundidades estudadas 30 dias após o plantio da <i>Crotalaria juncea</i> L. ....	60
Tabela 6. Comparação de médias de atributos químicos das duas profundidades estudadas 30 dias após o plantio da <i>Crotalaria juncea</i> L. ....	61
Tabela 7. Análise de variância de atributos químicos do solo em duas profundidades estudadas 60 dias após a incorporação da <i>Crotalaria juncea</i> L. ....	62
Tabela 8. Comparação de médias de atributos químicos das duas profundidades estudadas 60 dias após a incorporação da <i>Crotalaria juncea</i> L. ....	63
Tabela 9. Estatística descritiva de atributos químicos do solo em duas profundidades estudadas após a incorporação da <i>Crotalaria juncea</i> L. ....	65
Tabela 10. Parâmetros dos modelos ajustados aos semivariogramas isotrópicos para os atributos químicos do solo após a incorporação da <i>Crotalaria juncea</i> L. ....	66

**CAPÍTULO 3 - Exigências climáticas e consumo de água no cultivo de crotalária juncea como adubo verde.**

Tabela 1. Fator de cobertura e de molhamento médio em (cm) avaliados semanalmente até o florescimento pleno da <i>Crotalaria juncea</i> L. ....	93
Tabela 2. Valores de Kc (Kc S1, Kc S5) e Kc (Kc S1_méd, Kc S5_méd) médio por estágio fenológico da <i>Crotalaria juncea</i> L. ....	97
Tabela 3. Intervalo de confiança para a média dos kc's pelos lisímetros em cada estágio fenológico da <i>Crotalaria juncea</i> L. ....	98

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	1
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	3
2.1 Adubação verde .....	3
2.2 O uso da <i>Crotalaria juncea</i> L. ....	6
2.3 Lisimetria.....	8
2.4 Uso da água na agricultura .....	10
2.5 Variabilidade espacial .....	12
<b>LITERATURA CITADA</b> .....	14

<b>CAPÍTULO 1 - VARIABILIDADE ESPACIAL DE CROTALÁRIA JUNCEA SOB EFEITO RESIDUAL DE NÍVEIS DE NITROGÊNIO E SALINIDADE DA ÁGUA</b> .....	22
--	----

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	24
<b>2 MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	26
2.1 Localização do experimento.....	26
2.2 Histórico da área.....	26
2.3 Caracterização da área e delineamento experimental.....	27
2.4 Análise de crescimento da cultura .....	29
2.5 Análise estatística .....	31
<b>3 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	33
<b>4 CONCLUSÕES</b> .....	41
<b>LITERATURA CITADA</b> .....	42

<b>CAPÍTULO 2 - ADUBO VERDE INDICANDO VARIABILIDADE ESPACIAL DE ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO E EFEITO RESIDUAL DE NÍVEIS DE SALINIDADE E DOSES NITROGÊNIO</b> .....	47
---	----

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	49
<b>2 MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	51
2.1 Localização do experimento.....	51

2.2 Histórico da área.....	51
2.3 Caracterização da área e delineamento experimental.....	52
2.4 Avaliação das características do solo .....	54
2.5 Análises estatísticas .....	55
<b>3 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>57</b>
<b>4 CONCLUSÕES.....</b>	<b>72</b>
<b>LITERATURA CITADA.....</b>	<b>73</b>
<b>CAPÍTULO 3 - EXIGÊNCIAS CLIMÁTICAS E CONSUMO DE ÁGUA NO CULTIVO DE CROTALÁRIA JUNCEA COMO ADUBO VERDE .....</b>	<b>80</b>
<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>82</b>
<b>2 MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>84</b>
2.1 Localização do experimento.....	84
2.2 Delineamento e caracterização da área experimental.....	84
2.3 Estimativa da ETo horária e diária (equação de Penman-Monteith-FAO) .....	85
2.4 Determinação da ETc .....	86
2.5 Coeficiente de cultura (Kc) .....	88
2.6 Análise da fração de superfície do solo umedecida por irrigação e fator de cobertura.....	89
2.7 Análise estatística .....	89
<b>3 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>90</b>
<b>4 CONCLUSÕES.....</b>	<b>99</b>
<b>LITERATURA CITADA.....</b>	<b>100</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>102</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A adubação verde é conhecida desde a antiguidade e pode ser definida como a utilização de espécies vegetais com a finalidade de reciclar nutrientes do solo e fixar nitrogênio atmosférico através do emprego de leguminosas (Amado et al., 2001). Tal adubação consiste no cultivo de plantas de cobertura do solo, sendo incorporadas ou não, utilizadas na forma de pré-plantio, consórcio ou pós-plantio de culturas anuais ou perenes.

A grande capacidade dos adubos verdes e plantas de cobertura em produzir resíduos, reciclar e mobilizar nutrientes lixiviados ou pouco solúveis de camadas profundas do perfil beneficia aspectos da fertilidade do solo, como: teor de matéria orgânica e produção de ácidos orgânicos, diminuição no teor de Al, disponibilidade de nutrientes como Ca, Mg e K e a capacidade de troca de cátions (Alcântara et al., 2000) e viabiliza a exploração sustentável de muitos solos arenosos, pobres em nutrientes e matéria orgânica, com baixos teores de N e baixa CTC (Heinrichs et al., 2005; Faria et al., 2007).

As espécies de leguminosas mais utilizadas produzem grandes quantidades de matéria seca, têm concentração elevada de nutrientes na parte aérea, possuem sistema radicular profundo e ramificado e têm fácil decomposição (Giacomini et al., 2003; Erasmo et al., 2004; Perin et al., 2007). A formação de reservas de nutrientes para serem disponibilizadas para a cultura principal subsequente possibilita substituir, com vantagem econômica, parte da adubação mineral na cultura principal, sobretudo a nitrogenada (Wutke & Arévalo, 2006).

Para as condições edafoclimáticas do nordeste brasileiro devem ser utilizadas espécies adaptadas para sobreviver nos períodos críticos e com maior potencial para proteger e regenerar as características físicas, químicas e biológicas do solo (Nascimento et al., 2005). A *Crotalaria juncea* L. é uma das espécies de crescimento mais rápido e tem sido muito usada como adubo verde em rotação com diversas culturas e no enriquecimento do solo. Para isto, a incorporação das plantas ao solo pode ser feita após 8 a 10 semanas, por ocasião do florescimento. Essa espécie recebe destaque dentre as leguminosas, produzindo uma elevada quantidade de massa seca por área (Sousa, 2011), com cerca de 6 a 8 toneladas por ciclo (Formentini et al., 2008).

A região semiárida sempre enfrentou problemas direcionados com a escassez de água e vem se tornando cada vez mais uma das maiores preocupações com a



disponibilidade desse recurso tanto para o consumo humano quanto para a agricultura. O uso intensivo do solo sob irrigação é uma forma de garantia de produção, dada à realidade da região, porém, a falta de água de boa qualidade impulsiona a utilização de água de qualidade inferior, como a água salina, sob restrições ao seu uso. Sua utilização acarreta problemas relacionados à degradação e a alteração de características do solo para a produção agrícola, com redução da matéria orgânica e dos nutrientes, inclusive o nitrogênio.

O uso da adubação verde contribui para a redução desses efeitos, elevam a matéria orgânica e nitrogênio do solo e contribuem para o controle de doenças de solo com seu uso intensivo, melhorando os atributos físicos do solo. O cultivo destas leguminosas em condições semiáridas também requer irrigação e, sabendo que o uso de água salobra ou cultivo em solos salinizados podem afetar o crescimento das plantas, sua utilização pode atuar diretamente sobre a recuperação da qualidade do solo. Com o uso da agricultura intensiva, principalmente pelo grande produtor, tal adubação surge como forma de se ter uma agricultura sustentável, especialmente em nossa região onde se utiliza água de qualidade inferior na irrigação.

Como a água constitui um dos principais insumos destinados à produção de alimentos, a evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) assume aspecto fundamental no planejamento agrícola, pois é largamente utilizada na estimativa da demanda de água pela planta (Kashyap & Panda, 2001). Em superfície vegetada, os processos da evaporação e da transpiração ocorrem simultaneamente, e a união desses processos é denominada evapotranspiração, tornando-se, muitas vezes, difícil a separação dos dois processos físicos.

O uso de lisímetros de pesagem serve como ferramenta padrão em estudos de perda de água das culturas. Esses equipamentos quando bem projetados, calibrados e manejados medem precisamente e representativamente a evapotranspiração das culturas, integrando as variáveis do ambiente que regem tal processo (Carvalho et al., 2007).

Considerando os efeitos positivos que são proporcionados pela adubação verde, objetivou-se, por meio do cultivo do adubo verde crotalária juncea, avaliar a variabilidade espacial da espécie utilizada e características químicas do solo, bem como o balanço hídrico da cultura, sob efeito residual de níveis de salinidade e de doses de nitrogênio na área experimental.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Adubação verde

Atualmente, a preocupação com o avanço do processo degradativo dos solos brasileiros e com prevenção da degradação de novas áreas, principalmente nas regiões de cerrado, tem levado ao uso de práticas de adição de matéria orgânica ao solo, destacando-se a adubação verde, como uma alternativa viável na busca pela sustentabilidade dos solos agrícolas. Uma das soluções viáveis para a recuperação destes solos é através da adubação verde. Essa prática visa à sustentabilidade do solo agrícola (Alcântara et al., 2000), com o objetivo de diminuir a erosão e recuperar características físicas, químicas e biológicas do solo (Nascimento et al., 2005).

As espécies leguminosas têm sido as mais utilizadas para esta finalidade. Sua principal vantagem na adubação verde é reduzir a aplicação de adubo nitrogenado, pois essas plantas aportam nitrogênio do ar ao solo, fixando-o por meio de simbiose com bactérias do gênero *Rhizobium* (Silva, 2007). Além disto, apresentam sistema radicular profundo e ramificado, capaz de extrair nutrientes das camadas mais profundas do solo (Alcântara et al., 2000).

Outra vantagem é a rápida decomposição de seus resíduos, em decorrência da baixa relação C/N, determinando, assim, a rápida taxa de liberação de nitrogênio (AITA et al., 2001) e outros nutrientes (Perin et al., 2003, Salmi et al., 2006, Susuki & Alves, 2006), que podem ser aproveitados pela cultura subsequente (Aita et al., 2001; Fontanétti et al., 2006; Jesus et al., 2007; Andrioli et al., 2008; Duarte Júnior & Coelho, 2008).

Para isto, as plantas devem ser incorporadas ao solo, de preferência após o florescimento e antes da frutificação, garantindo a adição de grande quantidade de material vegetal. Além disso, beneficiam o solo mantendo-o sob cobertura vegetal (viva ou morta) na maior parte do ano, prática de manejo mais recomendada para proteção e conservação do solo (Alvarenga et al., 1995).

Além da melhoria da fertilidade do solo, através do aporte de nutrientes via mineralização dos resíduos vegetais gerados por elevada adição de fitomassa, a palhada dos adubos verdes minimiza a perda de água por evaporação (Marouelli et al., 2006) e diminui a ocorrência de plantas invasoras (Fontanétti et al., 2004), doenças e pragas, repõe matéria orgânica e protege o solo da ação dos agentes climáticos e ajuda a

viabilização do Sistema de Semeadura Direta e dos seus efeitos benéficos sobre a produção agropecuária e sobre o ambiente como um todo (Vidor et al., 2004), o que favorece o incremento da produtividade do sistema orgânico com uso de leguminosas para adubação verde.

A contribuição da adubação verde com leguminosas para melhoria do solo e produção agrícola depende em primeiro lugar da produção de biomassa, que controla a ciclagem de nutrientes, e da sua composição química, que controla a decomposição dos resíduos e a liberação de nutrientes (Tian & Kang, 1998). Assim, para o eficiente aproveitamento dos nutrientes liberados e a máxima produtividade, deve haver sincronia entre a mineralização dos nutrientes dos resíduos do adubo verde e a absorção pela cultura agrícola (Cobo & Barrios, 2002).

Entre os benefícios da adubação verde e cobertura vegetal destacam-se: aumento da capacidade de armazenamento de água no solo; controle de nematoides fitoparasitos; descompactação, estruturação e aeração do solo; diminuição de amplitude da variação térmica diuturna do solo; fornecimento de nitrogênio fixado direto da atmosfera; intensificação da atividade biológica do solo; melhoria do aproveitamento e eficiência dos adubos e corretivos; produção de fitomassa para formação da cobertura morta; proteção de mudas - plantas contra o vento e radiação solar; proteção do solo contra os agentes da erosão e radiação solar; rápida cobertura do solo e grande produção de massa verde em curto espaço de tempo; reciclagem de nutrientes lixiviados em profundidade; recuperação de solos de baixa fertilidade; redução da infestação de ervas daninhas, incidência de pragas e patógenos nas culturas e; suprimento de matéria orgânica ao solo.

De modo mais amplo, pode-se dizer que a adubação verde restaura e intensifica um grande número de processos de vida, deixando o solo mais fértil e mais saudável para a cultura seguinte. Sua ação é menos efêmera que de uma adubação química, porém requer repetição periódica, a fim de manter alto o patamar de fertilidade de um solo. O manejo adequado de resíduos vegetais na agricultura aumenta a produtividade, reduz a utilização de insumos químicos e, sobretudo, diminui a contaminação ambiental (Miyazawa et al., 2000).

Os efeitos promovidos pela adubação verde nas propriedades químicas do solo são bastante variáveis, dependendo de fatores como: espécie utilizada, manejo dado à biomassa, época de plantio e corte do adubo verde, tempo de permanência dos resíduos no solo, as condições locais e a interação entre esses fatores (Alcântara et al., 2000).

Efeitos dessa adubação decorrem do aporte de quantidades expressivas de

fitomassa, possibilitando elevação no teor de matéria orgânica e proporcionando aumento da capacidade de troca catiônica (CTC), o que traz maior retenção de nutrientes junto às partículas do solo e reduz perdas por lixiviação (Espindola et al., 1998). O solo corrigido é indispensável para o sucesso da adubação verde e a necessidade de adubação mineral depende da análise do solo.

Em relação ao uso como planta de cobertura, destacam-se algumas características como: espécies adaptadas às condições edafoclimáticas; sistema radicular eficiente na fixação do solo; ter área foliar suficientemente densa e porte baixo; não competir com a cultura principal e serem eficientes como adubo verde (Medrado, 2002).

O girassol, por exemplo, embora seja plantado como cultura para colheita de grãos e extração de óleo comestível, pode ser considerado um adubo verde, pois deixará como benefício adicional um solo mais fértil. O mesmo se aplica a colza, feijão de corda, feijões Mungo e adzuki, soja e outras culturas consideradas agrícolas. Ademais, a proliferação de diversas plantas espontâneas, depois incorporadas, poderá trazer benefícios à fertilidade (EMBRAPA, 2002).

Um manejo da cobertura verde/morta conserva melhor a umidade do solo, intensificando a atividade biológica, ao mesmo tempo em que aumenta a disponibilidade de diversos nutrientes, como nitrogênio e o potássio, que necessitam sobremaneira de umidade suficiente para estarem disponíveis. O potencial de espécies de adubos verdes no manejo integrado de invasoras gera ganhos de produtividade e economia de recursos (Erasmus et al., 2004; Fontanetti et al., 2004).

Os adubos verdes aportam uma grande variedade de substâncias orgânicas ao solo, tal como os exudatos de raízes, ou seja, muita celulose, ácidos orgânicos e diversas substâncias elaboradas, como aminoácidos, fitormônios. Os resíduos de adubos verdes liberam macro e micronutrientes em formas lábeis que podem se tornar disponíveis para culturas subsequentes, mediante a mineralização, dentre eles, principalmente o nitrogênio (Amado et al., 2002).

A qualidade dos resíduos de adubos verdes tem sido definida em função dos teores de C, N, P, lignina, polifenóis, suas inter-relações (Palm & Sanchez, 1991; Cobo & Barrios, 2002; Daimon, 2006) e da associação com a taxa de decomposição (Mendonça & Stott, 2003) e mineralização do N (Palm et al., 2001; Cobo & Barrios, 2002).

## 2.2 O uso da *Crotalária juncea* L.

A crotalária juncea (*Crotalaria juncea* L.) é originária da Índia, com ampla adaptação às regiões tropicais do mundo, mesmo em solos arenosos, soltos e com fertilidade diminuída, embora seja muito sensível ao alumínio do solo.

É uma espécie de clima tropical da família das leguminosas, cujo uso, como adubo verde, é amplamente preconizado, face ao seu rápido crescimento, grande potencial de produção de biomassa e reciclagem de nutrientes, fácil decomposição e eficiência na fixação biológica do nitrogênio da atmosfera (Dourado et al., 2001; Pereira et al., 2005; Kappes, 2011), proporcionando, desta forma, a incorporação de quantidades expressivas deste nutriente aos sistemas de cultivo (Guerra et al., 2004).

O principal uso das crotalárias é na adubação verde e cobertura do solo por serem plantas pouco exigentes. A incorporação das plantas ao solo pode ser feita após oito a dez semanas. Destaca-se entre as espécies da família das leguminosas, sendo planta de ciclo anual, arbustiva, de porte ereto e crescimento determinado, a qual atinge dois a três metros de altura, alcança uma produtividade entre 40 a 60 toneladas de massa verde e 6 a 8 toneladas de massa seca por ciclo e fixa entre 180 e 300 kg de N há<sup>-1</sup>, dos quais 60% ficam no solo, 30% vão para as plantas semeadas após a adubação verde e 10% se perdem do sistema solo-planta (Formentini et al., 2008; Lopes et al., 2005).

As principais características dessa espécie são: a boa cobertura do solo proporcionado pelo rápido crescimento, alta produção de biomassa, resistência a pragas e doenças, elevada ciclagem de nutrientes e supressão de nematóides parasitas (Inomoto et al., 2008). Essa última característica tem acarretado em grande expansão do cultivo dessa espécie nas áreas de produção de grãos na região do cerrado brasileiro.

A crotalária é utilizada para plantios consorciados com milho, milheto e milho de vassoura. A sua velocidade de crescimento é compatível com a do milho, portanto não sendo abafada por este. No caso de plantios consorciados com milheto e milho de vassoura, a crotalária juncea pode abafar os mesmos tornando suas produtividades baixas. Esta espécie é ideal para cultivos em áreas onde se tem um período curto de descanso (menos de 100 dias) (Formentini, 2008).

O espaçamento recomendado é de 0,50 m entre filas com 22 a 27 sementes por metro linear. Apesar de ser uma planta melindrosa, quando nova, ela tem uma velocidade de crescimento inicial muito rápida (Formentini et al., 2008). Dependendo da época do ano em que são cultivadas, estas plantas podem atingir até 3,5 m de altura,

dificultando os tratos culturais e a colheita manual, e impedindo qualquer possibilidade de mecanização (Luz et al., 2005). Uma técnica para contornar este problema seria a utilização de reguladores de crescimento capazes de reduzir o porte das plantas.

O benefício da incorporação de crotalaria juncea para o fornecimento de N gradativamente ao sistema foi evidenciando em trabalho com trigo, usando o adubo verde e a uréia, os quais concluíram que após dois anos de cultivo, em torno de 26% do nitrogênio da uréia e 75% do nitrogênio da crotalária aplicados no primeiro cultivo ainda se encontravam no solo (Lange et al. 2009). Outros benefícios podem ser atribuídos ao uso de leguminosas como adubos verdes, destacando-se o aumento, ao longo do tempo, do teor de matéria orgânica do solo e correção subsuperficial do pH, extração e mobilização de nutrientes nas camadas mais profundas do solo e do subsolo e extração de fósforo fixado (Osterroht, 2002).

Plantas de cobertura do solo, como crotalária e sorgo forrageiro (*Sorghum bicolor* L.), apresentam diferentes relações C/N, determinante para o tempo de decomposição do material vegetal deixado na superfície ou incorporado ao solo e, conseqüentemente, para a disponibilização dos nutrientes às plantas (Ferreira et al., 2011). Este processo de transformação da matéria orgânica é realizado primariamente pelos micro-organismos do solo, os quais desempenham importante papel no fluxo de energia e ciclagem de nutrientes e são considerados importantes indicadores da qualidade do solo (Ferreira et al., 2010).

O uso de crotalaria, guandu e lab-lab destacam-se como incrementos nos níveis de Ca, N, K e P, quando cultivados e manejados nas entrelinhas de laranjeiras (Silva et al., 2002). Mais de 200% de incremento foram obtidos nos cultivos de milho consorciado com caupi, em relação ao cultivo solteiro, em solos arenosos da Nigéria (Ezeibekwe & Anyaegbu, 2004).

Pelo fato de a crotalária ser uma planta utilizada para prática da adubação verde, o agricultor não tem o hábito de cultivá-la visando à obtenção de lucratividade direta, pela comercialização de sementes, por exemplo. Mas, como opção de renda extra, pode-se cultivar a crotalária para fins de produção de sementes, haja vista que, nos últimos anos, tem ocorrido maior demanda por sementes, principalmente devido à sua utilização em reformas de canaviais (Dourado et al., 2001).

Apesar das inúmeras vantagens que o uso da crotalária traz ao sistema produtivo, o entrave principal ao seu cultivo está na baixa disponibilidade de sementes no mercado e a dificuldade de colheita mecanizada. Assim como para a maioria das culturas, sua

produtividade é determinada pelo número de vagens e sementes por área e pela massa das sementes (Kappes, 2011).

### **2.3 Lisimetria**

Os lisímetros têm sido utilizados por mais de três séculos para estudos das relações entre água, solo e plantas. Inicialmente, foram desenvolvidos para quantificação e qualificação da água do solo percolada em estudos hidrológicos (Campeche, 2002). Desenvolvidos há mais de 60 anos, são dispositivos que contêm um determinado volume de solo representativo da área de interesse, onde é possível controlar e medir os componentes do balanço hídrico no sistema solo-planta-atmosfera, sob tratos culturais e condições climáticas específicas (Faria et al., 2006; Puppo & Petillo, 2010).

Os lisímetros são divididos em duas categorias: os não pesáveis (também chamados volumétricos, de drenagem ou lisímetro de compensação) e os lisímetros de pesagem (gravimétricos). Os de pesagem envolvem vários princípios e dispositivos de medida que podem ser balanças mecânicas que apresentam um sistema de alavancas com braço de apoio ligado às células de carga indicadoras de esforço, onde a variação da massa do lisímetro tem sido medida por células de carga que alteram uma corrente variando sua resistência em função de micro deformação causada pela variação da massa sustentada (Santos, 2012).

A determinação do consumo de água e dos coeficientes de cultura por meio da utilização de lisimetria vem sendo empregada no Brasil, sendo o lisímetro de pesagem o modelo mais empregado em estudos de culturas de médio porte como as culturas anuais (Medeiros et al., 2003; Carvalho et al., 2007; Santos et al., 2008). As condições físicas e da umidade do solo no lisímetro precisam aproximar-se o máximo possível, das condições do solo da área externa. A vegetação plantada dentro do lisímetro deve ser da mesma espécie, altura e densidade da vegetação externa (Santos, 2012).

Alguns cuidados devem ser tomados para manter idênticas as condições dentro e fora do lisímetro para se evitar problemas como o efeito oásis (área úmida circundada por área seca) e buquê (plantas maiores dentro do lisímetro) e, ainda, a presença do lisímetro na área de estudo deve ser pouco perceptível para que tais efeitos se minimizem (Melo et al., 2011).

A utilização de lisímetros é uma ferramenta extremamente importante para tentar reproduzir as condições reais de campo (Loos et al., 2007), a fim de representar o ambiente local, com superfície vegetada ou não, para determinação da evapotranspiração de uma cultura em crescimento ou de uma cobertura vegetal de referência ou, ainda, da evaporação a partir de um solo não vegetado (Medeiros, 2002).

As variáveis controladas junto ao lisímetro são a precipitação, o escoamento, a infiltração e o armazenamento permitindo dessa forma a obtenção da evapotranspiração real e/ou potencial. Quando bem instalados, possibilitam medidas precisas da evapotranspiração (ET), principalmente quando os mesmos são preenchidos corretamente, pois, dessa forma, as camadas de solo no seu interior assemelham-se o máximo possível às camadas de solo da área externa (Silva, 2003).

Tais estruturas se justificam apenas em condições experimentais com observações rigorosas das condições de contorno que visam a minimizar os efeitos advectivos principalmente em época de deficiência hídrica. Nesse sentido, os lisímetros devem ser locados de tal forma que obstáculos não alterem a radiação incidente e/ou o padrão do vento (Pereira et al., 2002).

Para minimizar os efeitos das paredes do lisímetro sobre a evapotranspiração medida, essas devem ser construídas com a menor espessura possível e deve-se reduzir ao máximo a abertura existente entre as paredes interna e externa. Os autores relatam que uma proteção seja colocada entre as caixas interna e externa do lisímetro, com a finalidade de proteger o conjunto contra a entrada de chuva ou sujeira. A entrada de chuva ou material estranho interfere nas medidas e pesagens (Howell et al., 1991).

Apesar de precisos, os lisímetros de pesagem apresentam alguns problemas que dificultam sua operação em escalas de tempo muito reduzidas. Dificuldades operacionais são verificadas em dias com chuvas intensas, em sequência de dias com chuvas intermitentes e também em dias sem chuvas, mas com ventos intermitentes (Pereira et al., 2002).

Estando os recursos hídricos cada vez mais escassos, torna-se necessário um planejamento mais eficaz do aproveitamento da água na produção agrícola, com desenvolvimento de metodologias que permitam estimar volumes cada vez mais exatos de água necessária para obtenção de ótimas produções dos cultivos (Melo et al., 2011).



## 2.4 Uso da água na agricultura

No Brasil, segundo informações da ANA (2007), a distribuição percentual do volume de água consumido entre os setores da sociedade são: agricultura irrigada 46%, consumo urbano 27% e indústria 18%. O semiárido do Brasil, que ocupa uma superfície equivalente a 69,2% da região Nordeste, sempre apresentou problemas socioeconômicos influenciados muito mais pela má distribuição temporal e espacial das precipitações do que pela insuficiência global deste recurso (MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL, 2005).

Para aumentar as limitações da região, 85% da área se encontram sobre rochas cristalinas impermeáveis, onde a água subterrânea de má qualidade se acha nas fraturas das rochas. Associado à escassez de água, ocorre o problema da falta de garantia de oferta hídrica, uma vez que no semiárido ocorrem os fenômenos das secas e, em sua grande maioria, os rios não são perenes (Palácio et al., 2009).

A agricultura irrigada depende tanto da quantidade como da qualidade da água, sendo a qualidade, em longo prazo, um dos fatores mais importantes e, podendo as águas salinas utilizadas na irrigação apresentar risco para produção agrícola das culturas (Barroso, 2011). Os efeitos da salinidade nas plantas são devidos à salinidade ou a sodicidade, mas, usualmente, ambos estão envolvidos. A salinidade diminui o potencial externo de água reduzindo a disponibilidade de água às culturas, que podem reduzir a produção em até 50% (Santana et al., 2007).

Altos níveis de sais nas águas de irrigação, tanto são prejudiciais ao desenvolvimento das culturas como causam a obstrução dos sistemas de irrigação (Garcia et al., 2008). A qualidade da água para fins agrícolas obedece a uma classificação, determinada pela concentração de alguns íons, tais como o sódio, potássio, cloretos e os sulfatos, além de outros parâmetros, como sólidos dissolvidos e a condutividade elétrica (Barroso, 2011).

Apesar da grande quantidade demandada pela agricultura irrigada, há que se considerar que mais de 90% da água consumida pelas plantas são perdidos através da transpiração, retornando então para o ciclo hidrológico, assim como acontece com a evaporação que ocorre nos espelhos d'água de represas e de reservatórios para produção de energia, conforme discutido por Morethson (2004).

É fundamental lembrar que o uso da água pelas plantas se faz necessário para que estas realizem metabolismo resultando em produção e que este processo envolve

grandes quantidades de água, que deverão ser aportadas pelas precipitações pluviométricas ou pela irrigação (Pires et al., 2008). Para que se possa fazer correta interpretação da qualidade da água para irrigação, os parâmetros analisados devem estar relacionados com seus efeitos no solo, nas culturas e no manejo da irrigação, os quais são necessários para controlar ou compensar os problemas relacionados com a qualidade da água (Bernardo et al., 2008).

Normalmente, solos afetados por sais são encontrados em zonas áridas e semiáridas, onde a evaporação é superior à precipitação. A drenagem interna é deficiente e apresentada em alguns solos dessas regiões e, juntamente com a excessiva evaporação, produz a acumulação de sais solúveis e o incremento do sódio trocável na superfície e/ou na subsuperfície dos solos (Barros et al., 2004).

A qualidade da água de irrigação, segundo o tipo e a quantidade de sais dissolvidos, pode variar significativamente de um lugar para outro, como também com o tempo. A maioria das fontes de água do Nordeste apresenta boa qualidade, contudo existem águas de qualidade inferior que podem ser utilizadas para irrigação. Sua utilização fica condicionada à tolerância das culturas à salinidade e ao manejo da irrigação com vistas ao controle da salinização destas áreas (Alencar, 2007).

A necessidade de água é devida ao processo metabólico desempenhado pelas plantas, principalmente o processo de transpiração. As plantas absorvem água do solo pelas raízes e apenas uma pequena parte dela é incorporada na matéria vegetal, na forma de água constituinte, e grande parte é perdida pelas folhas através dos estômatos, para a atmosfera, na forma de vapor de água (Pires, 2008).

A região de maior densidade de área irrigada no estado do Rio Grande do Norte tem como principal fonte de água a do aquífero calcário jandaíra, que tem como principal vantagem o seu baixo custo de obtenção tanto no investimento para captação como pelo gasto de energia, entretanto, apresenta elevados níveis de salinidade podendo causar a salinização dos solos e prejudicar o rendimento das culturas mais sensíveis. O aquífero mais explorado para irrigação de culturas na Chapada do Apodi é o Calcário Jandaíra, com poços de profundidade média variando de 50 a 150 m (Serhid, 2005).

Para que sejam evitadas essas perdas de rendimento, é necessário que os sais sejam mantidos numa concentração inferior àquelas que afetariam o rendimento das culturas. Para isso, um manejo adequado dessas águas é fundamental. A variação na composição e qualidade das águas destinadas à irrigação depende da zona climática,

fonte da água, trajeto percorrido, época do ano, geologia da região e manejo adotado na irrigação (Cruz et al., 2003).

## **2.5 Variabilidade espacial**

A geoestatística difere da denominada estatística clássica na forma de avaliar a variação dos dados. A segunda supõe que as realizações das variáveis aleatórias são independentes entre si, ou seja, não há relação entre a variação e a distância entre os pontos de amostragem, enquanto a primeira considera existir uma dependência da variação com relação ao espaço de amostragem (Silva et al., 2011).

Fenômenos naturais apresentam frequentemente uma certa estruturação na variação entre vizinhos, e desta forma pode-se dizer que as variações não são aleatórias, e apresentam algum grau de dependência espacial (Guimarães, 2004). Se a distribuição espacial das amostras for observada e levada em consideração, em muitos casos é possível tirar vantagem da variabilidade espacial (Mata, 1997), o que torna oportuna a observação de Reichardt (1985) de que a estatística clássica e a geoestatística completam-se. Uma não exclui a outra, e perguntas não respondidas por uma, muitas vezes podem ser respondidas pela outra.

Estudos na ciência do solo, nos quais muitas informações necessitam ser interpretadas, adotaram a estatística multivariada e a integraram com a estatística espacial (Facchinelli et al., 2001; Borůvka et al., 2007). Com o uso do solo, a variabilidade espacial naturalmente encontrada pode ser modificada com o efeito do preparo do solo, efeitos residuais de adubos e corretivos, sistemas de manejo adotados, forma de aplicação de insumos, entre outros fatores que podem em algumas situações tanto aumentar a heterogeneidade do solo como diminuí-la (Carvalho et al., 2003, Cavalcante et al., 2007; Vieira et al., 2011).

As variações dos atributos do solo têm sido alvos de várias pesquisas e, até meados do século passado, os métodos de análise destas variações baseavam-se unicamente na estatística. Com a inserção dos conceitos de variabilidade espacial, a geoestatística surgiu e se fundamentou como um ramo da estatística especializada em analisar atributos espaciais (Câmara & Medeiros, 1998). Atualmente, a ciência do solo tem-se apoiado intensamente na utilização da geoestatística, decorrente das inúmeras respostas dadas às mais variadas questões existentes que, até então, eram ignoradas (Carvalho et al., 2003).

Em estudo com geoestatística na determinação da variabilidade espacial de características químicas do solo sob diferentes preparos, Carvalho, et al. (2002) concluíram que a dependência espacial é melhor representada na direção de Y, devido a práticas culturais e operações de campo realizadas nesta direção, e que essa dependência varia conforme a profundidade de coleta da amostra do solo.

Em plantio convencional, Machado et al. (2007) avaliando variabilidade espacial de atributos químicos concluíram que a grande maioria dos atributos avaliados apresentou dependência espacial, a qual pode influenciar a amostragem desses atributos e o manejo adequado da adubação.

Em solo sob café conilon, estudando a variabilidade espacial de atributos químicos, Burak et al. (2012) verificaram que em relevo ondulado sob café a variabilidade dos atributos químicos indica maior continuidade da dependência espacial na camada superficial, onde existe maior influência do relevo e dos fluxos de água, e que para os atributos químicos estudados, a separação de zonas homogêneas depende não somente do relevo, mas também da profundidade contextualizada.

Em um estudo de variabilidade espacial de atributos de solo e de crotalaria juncea em área severamente erodida, Salviano et al. (1998) verificaram que todos os atributos estudados apresentaram dependência espacial, com exceção do P (0-20 cm) e K, nas camadas de 0-20 e 20-40 cm.

## LITERATURA CITADA

AITA, C.; BASSO, C. J.; CERETTA, C. A.; GONÇALVES, C. N.; ROS, C. O. Plantas de cobertura de solo como fonte de nitrogênio ao milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, n. 1, p. 157-165, 2001.

ALCÂNTARA, F. A.; FURTINI NETO, A. E.; PAULA, M. B. DE; MESQUITA, H. A.; MUNIZ, J. A. Adubação verde na recuperação da fertilidade de um Latossolo Vermelho-Escuro degradado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.35, n.2, p.277-288, 2000.

ALENCAR, R. D. **Monitoramento da qualidade da água de poços no calcário jandaíra e restrições na agricultura irrigada**. 2007, 71p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal Rural do Semiárido. Mossoró, RN, 2007.

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH. **Evapotranspiration del cultivo: guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos**. Roma: FAO, 2006, 298p. (FAO, Estudio Riego e Drenaje Paper, 56).

ALVARENGA, R.; COSTA, L. M.; MOURA FILHO, W.; RAZZI, A. J. Características de alguns adubos verdes de interesse para a conservação e recuperação de solos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.20, n.2, p. 175-185, 1995.

AMADO, T. J. C.; BAYER, C.; ELTZ, F. L. F.; BRUM, A. C. R. Potencial de culturas de cobertura em acumular carbono e nitrogênio no solo no plantio direto e a melhoria da qualidade ambiental. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.25. 2001, p.189-197.

AMADO, T. J. C.; MIELNICZUK, J.; AITA, C. Recomendação de adubação nitrogenada para o milho no RS e SC adaptada ao uso de culturas de cobertura do solo, sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 26, n. 01 p. 241-248, 2002.

ANA. 2007. GEO Brasil: recursos hídricos: resumo executivo. Ministério do Meio Ambiente; **Agência Nacional das Águas**; Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente: Brasília, 2007. 60p.

ANDRIOLI, I.; BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F.; ANDRIOLI, F. F.; COUTINHO, E. L. M. Produção de milho em plantio direto com adubação nitrogenada e cobertura do solo na présafra. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 4, p. 1691-1698, 2008.

BARROS, M. F. C.; FONTES, M. P. F.; ALVAREZ V. H.; RUIZ, H. A. Recuperação de solos afetados por sais pela aplicação de gesso de jazida e calcário no Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola e Ambiental**, jan./abril. 2004, vol.8, no.1, p.59-64.

BARROSO, A. A. F.; GOMES, G. E.; LIMA, A. E. O.; PALÁCIO, H. A. Q.; LIMA, C. A. Avaliação da qualidade da água para irrigação na região Centro Sul no Estado do

Ceará. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, 15.6, p588, 2011.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. 8º edição Viçosa: UFV, 2008, 596p.

BORŮVKA, L.; MLÁDKOVÁ, L.; PENÍŽEK, V.; DRÁBEK, O.; VAŠÁT, R. Forest soil acidification assessment using principal component analysis and geostatistics. **Geoderma**, v.140, p.374-382, 2007.

BURAK, D. L.; PASSOS, R. R.; ANDRADE, F. V. Variabilidade espacial de atributos químicos do solo sob cafeeiro Conilon: relação com textura, matéria orgânica e relevo. **Bragantia**, Campinas, v. 71, n. 4, p.538-547, 2012

CÂMARA, G.; MEDEIROS, J. S. **Geoprocessamento para Projetos Ambientais**, São José dos Campos, 2 ed, 1998.

CAMPECHE, L. F. S. M.. **Construção, Calibração e análise de funcionamento de lisímetros de pesagem para evapotranspiração da cultura da Lima Ácida (Citrus latifolia Tan.)**. 2012. 67 f. Tese (Doutorado) – USP/ESALQ, Piracicaba, 2002.

CARVALHO, D. F.; SILVA, L. D. B.; GUERRA, J. G. M.; CRUZ, F. A.; SOUZA, A. P. Instalação, calibração e funcionamento de um lisímetro de pesagem. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.27, n.2, p.363- 372, 2007.

CARVALHO, J. R. P.; SILVEIRA, P. M.; VIEIRA, S. R. Geoestatística na determinação da variabilidade espacial de características químicas do solo sob diferentes preparos. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v. 37, n. 8, p. 1151-1159, ago. 2002.

CARVALHO, M. P.; TAKEDA, E. Y.; FREDDI, O. S. Variabilidade espacial de atributos de um solo sob videira em Vitória Brasil (SP). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, p.695-703, 2003.

CAVALCANTE, E. G. S.; ALVES, M. C.; SOUZA, Z. M.; PEREIRA, G. T. Variabilidade espacial de atributos químicos do solo sob diferentes usos e manejos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.31, p.1329-1339, 2007.

COBO, J. G.; BARRIOS, E. nitrogen mineralization and crop uptake surface-applied leaves of green manure species on a tropical volcanic-ash soil. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v. 36, n. 36, p. 87-92, 2002.

CRUZ, M. G. M.; ANDRADE, E. M.; NESS, R. L. L.; MEIRELES, A. C. M. **Caracterização das águas superficiais e subterrâneas do projeto Jaguaribe-Apodí**. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.23, n. 1, p. 187-194, 2003.

DAIMON, H. Traits of the genus *Crotalaria* used as a green manure legume on sustainable cropping systems. **JARQ: Japan Agricultural Research Quarterly**, v. 40, n. 4, p. 299-305, 2006.

DOURADO, M. C.; SILVA, T. R. B.; BOLONHEZI, A. C. Matéria seca e produção de grãos de *Crotalaria juncea* L. submetida à poda e adubação fosfatada. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 58, n. 2, p. 287-293, 2001.

DUARTE JÚNIOR, J. B.; COELHO, F. C. Adubos verdes e seus efeitos no rendimento da cana-de-açúcar em sistema de plantio direto. **Bragantia**, Campinas, v. 67, n. 3, p. 723-732, 2008.

EMBRAPA. **Revista Agroecológica**: Embrapa, out. 2002. Disponível em: <<http://redeagroecologia.cnptia.embrapa.br/boletins/tecnicasagroecologicas/Adubacao%20verde.pdf>>. Acesso em: 02 fev. 2013.

ERASMO, E. A. L.; AZEVEDO, W. R.; SARMENTO, R. A.; CUNHA, A. M.; GARCIA, S. L. R. Potencial de espécies utilizadas como adubo verde no manejo integrado de plantas daninhas. **Planta Daninha**, v. 22, n. 3, p. 337-342, 2004.

ESPINDOLA, J. A. A; ALMEIDA, D. L; GUERRA, J. G. M.; SILVA, E. M. R.; SOUZA, F. A. Influência da adubação verde na colonização micorrízica e na produção da batata-doce. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 24, n. 2, p. 339-347, 1998.

EZEIBEKWE, I. O.; ANYAEGBU, P. O. Performance of maize intercropped with leguminous browse plants at different rates of lime. **Journal of Agricultural and Food Science**, Owerri, v. 2 n. 1, p. 1-8, 2004.

FACCHINELLI, A.; SACCHI, E.; MALLIN, L. Multivariate statistical and GIS based approach to identify heavy metal sources in soils. **Environmental Pollution**, Italy, v.114, p. 313-324. 2001.

FAGERIA, N. K. Manejo químico do solo. In: FERREIRA, M.E.; YAMADA, T.; MALAVOLTA, E. (Eds.). **Cultura do arroz de sequeiro: fatores afetando a produtividade**. Piracicaba: Instituto da Potassa e do Fosfato - Instituto Internacional da Potassa, 1983. p.239-260.

FARIA, R. T.; CAMPECHE, F. S. M.; CHIBANA, E. Y. Construção e calibração de lisímetros de alta precisão. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.10, n.1, p.237-242, 2006.

FARIA, C. M. B.; COSTA, N. D.; FARIA, A. F. Atributos químicos de um Argissolo e rendimento de melão mediante o uso de adubos verdes, calagem e adubação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.31, n.2, p.299-307, 2007.

FERREIRA, E. P. B.; SANTOS, H. P.; COSTA, J. R.; DE-POLLI, H.; RUMJANEK, N. G. Microbial soil quality indicators under different crop rotations and tillage management. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v.41, p.177-183, 2010.

FERREIRA, E. P. B.; STONE, L. F.; PARTELLI F. L.; DIDONETIV, A. D. Produtividade do feijoeiro comum influenciada por plantas de cobertura e sistemas de manejo do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, 15.7 p695, 2011.

FONTANÉTTI, A.; CARVALHO, G. J.; MORAIS, A. R.; ALMEIDA, K.; DUARTE, W. F. Adubação verde no controle de plantas invasoras nas culturas de alface-americana e de repolho. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 28, n. 5, p. 967-973, 2004.

FORMENTINI, E. A.; LÓSS, F. R.; BAYERL, M. P.; LOVATI, R. D.; BAPTISTA, E. **Cartilha sobre adubação verde e compostagem**. INCAPER, Vitória, 2008, 27p

GIACOMINI, S. J.; AITA, C.; VENDRUSCOLO, E. R. O.; CUBILLA, M.; NICOLOSO, R. S.; FRIES, M. R. Matéria seca, relação C/N e acúmulo de nitrogênio, fósforo e potássio em misturas de plantas de cobertura de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, n.2, p.325-334, 2003.

GARCIA, G. O.; MARTINS FILHO, S.; REIS, E. F.; MORAES, W. B.; Nazário, A. A. Alterações químicas de dois solos irrigados com água salina. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 39, p.7-18, 2008.

GUERRA, J. G. M.; DE-POLLI, H.; ALMEIDA, D. L. Managing carbon and nitrogen in tropical organic farming through green manuring. In: ADETOLA BADEJO, M.; TOGUN, A. O. (Eds.). **Strategies and tactics of sustainable agriculture in the tropics**. Ibadan: College Press, 2004. p. 125-140.

GUIMARÃES, E. C. **Geoestatística básica e aplicada**. UFU/ FAMAT. Núcleo de estudos estatísticos e biométricos. 2004. 48 p. Disponível em: <[www.famat.ufu.br/ednaldo/geoest/apgeo1.pdf](http://www.famat.ufu.br/ednaldo/geoest/apgeo1.pdf)>. Acesso em: 11 Jan. 2014.

HOWELL, T. A.; SCHNEIDER, A. D.; JENSEN, M. E. **History of lysimeter design and use** JENSEN, M. E.; BURMAN, R. D.; ALLEN, R. G. Evapotranspiration and irrigation water requirements. New York: ASCE, 332p. 1991.

INOMOTO, M. M.; ANTEDOMÊNICO, S. R.; SANTOS, V. P.; SILVA, R. A.; ALMEIDA, G. C. Avaliação em casa de vegetação do uso de sorgo, milho e crotalária no manejo de *Meloidogyne javanica*. **Tropical Plant Pathology**, Viçosa, v. 33, p. 125-129, 2008.

JESUS, R. P.; CORCIOLI, G.; DIDONET, A. D.; BORGES, J. D.; MOREIRA, J. A. A.; SILVA, N. F. Plantas de cobertura de solo e seus efeitos no desenvolvimento da cultura do arroz de terras altas em cultivo orgânico. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 37, n. 4, p. 214-220, 2007.

KASHYAP, P. S.; PANDA, R. K. Evaluation of evapotranspiration estimation methods and development of crop-coefficients for potato crop in a sub-humid region. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v.50, n.1. p.9-25, 2001.

KAPPES, C. Utilizações e benefícios da crotalária na agricultura. **Revista Panorama Rural**, Ribeirão Preto, n. 147, p. 16-17, 2011.

KAPPES, C. Uso de reguladores de crescimento no desenvolvimento e produção de crotalária. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 41, n. 4, p. 508-518, out./dez. 2011.



- LANGE, A.; BOLOGNA, I. R.; FARONI, C. E.; TRIVELIN, P. C. O. Aproveitamento pelo trigo do nitrogênio residual da crotalária (*Crotalaria juncea*) e da uréia aplicado ao solo em cultivo precedente. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, n. 6, p. 1715-1720, 2009.
- LOPES, H. M.; QUEIROZ, O. A. e MOREIRA, L. B. Características agronômicas e qualidade de sementes de crotalária (*Crotalaria juncea* L.) na maturação. **Revista Universidade Rural**, Rio de Janeiro, v. 25, n. 2, p.24-30, 2005.
- LOOS, C.; GAYLER, S.; PRIESACK, E. Assessment of water balance simulations for large-scale weighing lysimeters. **Journal of Hydrology**, v.335, p.259-270, 2007.
- LUZ, P. H. C.; VITTI, G. C.; QUINTINO, T. A.; OLIVEIRA, D. B. **Utilização de adubação verde na cultura da cana-de-açúcar**. Piracicaba: ESALQ/USP, 2005.
- MACHADO, L. O; LANA, A. M. Q.; LANA, R. M. Q.; GUIMARÃES, E. C.; FERREIRA, C. V. Variabilidade espacial de atributos químicos do solo em áreas sob sistema plantio convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 3, p. 591-599, 2007.
- MAROUELLI, W. A.; SILVA, H. R. e MADEIRA, N. R. Uso da água e produção de tomateiro para processamento em sistema de plantio direto com palhada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 9, p. 1399-1404, 2006.
- MATA, J. D. V. **Variabilidade espacial de indicadores da compactação de terra roxa estruturada, sob dois sistemas de preparo, cultivada com feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) irrigado**. Piracicaba, 1997. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo. Piracicaba, 1997. 73p.
- MEDEIROS, A. T. **Estimativa da evapotranspiração de referência partir da equação de Penman-Monteith, de medidas lisimétricas e de equações empíricas em Paraibapa, CE**. Tese (Doutorado) - Escola Superior "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo. Piracicaba, SP, 2002. 103p.
- MEDEIROS, A. T.; SENTELHAS, P. C.; LIMA, R. N. Estimativa da evapotranspiração de referência a partir da equação de Penman-Monteith, de medidas lisimétricas e de equações empíricas, em Paraipaba, CE. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.23, n.1, p.31-40, 2003.
- MEDRADO, M. J. S. **Uso de coberturas verdes de solo nas entrelinhas de erva-mate**. Embrapa. Colombo-PR: 2002. p.7. (Comunicado técnico 84)
- MELO, T. K.; MEDEIROS, J. F.; ESPÍNOLA SOBRINHO, J.; FIGUEIRÊDO, V. B.; PEREIRA, V. C.; CAMPOS, M. S. Evapotranspiração e produção do melão Gália irrigado com água de diferentes salinidades e adubação nitrogenada. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, UAEEA/UFCG, v.15, n.12, p.1235-1242, 2011.

MENDONÇA, E. S.; STOTT, D. E. Characteristics and decomposition rates of pruning residues from a shaded coffee system in Southeastern Brazil. **Agroforestry Systems**, Dordrecht, v. 57, n. 2, p. 117-125, 2003.

MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL. **Nova delimitação do semiárido brasileiro**. Brasília. 2005. 34p. Disponível em:<<http://www.integracao.gov.br/desenvolvimentoregional/publicacoes/delimitacao.asp>>. Acesso em: 05 fev. 2013.

MIYAZAWA, M.; PAVAN, M. A. e FRANCHINI, J. C. **Neutralização da acidez do perfil do solo por resíduos vegetais**. 2000. 8p. (Informações agronômicas nº 92, Encarte técnico).

MORETHSON, R. **Água para energia hidrelétrica e para agricultura irrigada**. ITEM, Brasília, n.61/62, p. 76-77, 2004.

NASCIMENTO, J. T.; SILVA, I. F.; SANTIAGO, R. D.; SILVA NETO, L. F. Efeito de leguminosas nos atributos físicos e carbono orgânico de um Luvissole. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, n. 5, p. 825-831, 2005.

OSTERROHT, M. V. O que é a adubação verde: princípios e ações. In: Adubos verdes: Espécies, características, ações, vantagens, diferentes métodos, plano de rotação e correção orgânica da acidez no perfil do solo. **Agroecologia Hoje**, Botucatu, n.14, p. 9-10, 2002.

PALÁCIO, H. A. Q. NETO, J. A. C.; TEIXEIRA, A. S.; ANDRADE, E. M. Caracterização da potencialidade de uso das águas subterrâneas no vale do Trussu-CE. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v.35, p.316-324, 2009.

PALM, C. A.; GACHENGO, C. N.; DELVE, R. J.; CADISCH, G.; GILLER, K. E. Organic inputs for soil fertility management in tropical agroecosystems: application of an organic resource database. **Agriculture Ecosystems e Environment**, Amsterdam, v. 83, n. 1-2, p. 27-42, 2001.

PALM, C. A.; SANCHEZ, P. A. Nitrogen release from the leaves of some tropical legumes as affected by their lignin and polyphenolic. **Soil Biology and Biochemistry**, Elmsford, v. 23, n. 1, p. 83-88, 1991.

PEREIRA, A. J.; PEREIRA, A. J.; GUERRA, J. G. M.; MOREIRA, V. F.; TEIXEIRA, M. G.; URQUIAGA, S.; POLIDORO, J. C.; ESPÍNDOLA, J. A. A. Desempenho agronômico de *Crotalaria juncea* em diferentes arranjos populacionais e épocas do ano. Seropédica: **Embrapa Agrobiologia**, 2005. (Comunicado técnico, 82).

PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. Agrometeorologia: fundamentos e aplicações práticas, Guaíba: **Agropecuária**, 2002, 478p.

PEREIRA, A. R.; SANTIAGO, A.V.; MAGGIOTO, S.R.; FOLEGATTI, M.V. Problemas operacionais com lisímetros de pesagem durante a estação chuvosa e em dias secos com rajadas de vento. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.10, n.1, p.51-6, 2002.

PERIN, P.; BERNARDO, J. T.; SANTOS, R. H. S.; FREITAS, G. B. Desempenho agrônomico de milho consorciado com feijão-de-porco em duas épocas de cultivo no sistema orgânico de produção. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.31, n.3, p.903-908, 2007.

PIRES, R. C. M.; ARRUDA, F. B.; SAKAI, E.; CALHEIROS, R. O.; BRUNIN, O. Agricultura Irrigada. **Revista Tecnologia & Inovação Agropecuária**, Campinas - Sp, n. , p.98-111, jun. 2008.

PUPPO, L.; PETILLO-G, M. Determinacion del consumo de agua del duraznero por lisimetría. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.14, n.1, p.25-31, 2010.

REICHARDT, K. **Processos de transferência no sistema solo-planta-atmosfera**. Campinas, Fundação Cargill, 1985. 445p.

SALMI, G. P.; SALMI, A. P.; ABBOUD, A. C. S. Dinâmica de decomposição e liberação de nutrientes de genótipos de guandu sob cultivo em aleias. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 41, n. 4, p. 673-678, 2006.

SANTANA, M. J.; CARVALHO, J. A.; SOUZA, K. J.; SOUSA, A. M. G.; VASCONCELOS, C. L.; ANDRADE, L. A. B. Efeitos da salinidade da água de irrigação na brotação e desenvolvimento inicial da cana-de-açúcar (*Saccharum spp*) e em solos com diferentes níveis texturais. **Revista Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.31, p.1470-1476, 2007.

SANTOS A. O.; MAZIERO, J. V. G.; CAVALLI, A. C.; VALERIANO, M. M.; OLIVEIRA, H.; SANTOS, F. X.; RODRIGUES, J. V.; MONTENEGRO, A. A. A.; MOURA, R. F. Desempenho de lisímetro de pesagem hidráulica de baixo custo no Semi-Árido Nordeste. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.28, n.1, p.115-124, 2008.

SANTOS, W. O. **Necessidades hídricas, desenvolvimento e análise econômica da cultura do milho nas condições do semiárido brasileiro**. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal Rural do Semi-Árido - UFERSA, Mossoró - Rn, 2012. 105 f.

SERHID (Secretaria de Estado dos Recursos Hídricos). **Bacia 01 – Apodi-Mossoró**. 2005. Disponível em: <[http://www.assecom.rn.gov.br/not\\_Ant.asp?idnoticia=137](http://www.assecom.rn.gov.br/not_Ant.asp?idnoticia=137)>. Acesso em: 05 Set. 2013.

SILVA, D. M. E. **Influência dos sistemas de exploração agrícola convencional e orgânico em cana-de-açúcar**. 2007, Tese (Doutorado). Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2007, 72f.

SILVA, L. D. B. **Evapotranspiração do capim tanzânia (*Panicum maximum* Jacq) e grama-batatais (*Paspalum notatum* Flugge) utilizando o método do balanço de energia e lisímetro de pesagem**. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) – Escola Superior "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003, 93 f.

SILVA, J. A. A.; VITTI, G. C.; STUCHI, E. S.; SEMPIONATO, O. R. Reciclagem e incorporação de nutrientes ao solo pelo cultivo intercalar de adubos verdes em pomar de

laranjeira-‘Pêra’. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 24, n. 1, p. 225-230, 2002.

SILVA, A. F.; QUARTEZANI, W. Z.; ZIMBACK, C. R. L.; LANDIM, P. M. B. **Aplicação da Geoestatística em Ciências Agrárias**. II Simpósio de geoestatística aplicada em ciências agrárias. Botucatu: FEPAF, 2011, 136 p.

SOUSA, G. M. M. **Adubação orgânica e densidades de plantas em crotalária juncea antecedendo arroz**. Dissertação (Mestrado em ciência do solo). Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2011.

SIX, J.; FELLER, C.; DENEFF, K.; OGLE, S. M.; SA, J. C. M.; ALBRECH, A. Soil organic matter, biota an aggregation in temperate and tropical soils: effect no-tillage. **Agronomie**, Les Ulis, v. 22, p. 755-775, 2002.

SUSUKI, L. E. A. S.; ALVES, M. S. Fitomassa de plantas de cobertura em diferentes sucessões de culturas e sistemas de cultivo. **Bragantia**, Campinas, v. 65, n. 1, p. 121-127, 2006.

TIAN, G.; KANG, B. T. Effects of soil fertility and fertilizer application on biomass and chemical compositions of leguminous cover crops. **Nutrient Cycling in Agroecosystem**, Amsterdam, v. 51, n. 03, p. 231-238, 1998.

VIEIRA, S. R.; DECHEN, S. C. F.; SIQUEIRA, G. M.; DUFRANC, G. Variabilidade espacial de atributos físicos e químicos relacionados com o estado de agregação de dois Latossolos cultivados no sistema de semeadura direta. **Bragantia**, v.70, p.185-195, 2011.

VIDOR, C.; FONTOURA, G. U. G.; MACEDO, J.; NAPOLEÃO, B. A.; MIN, T. **Tecnologia de produção de soja: região central do Brasil**. Londrina: Embrapa Soja. 2004. Disponível em: <http://www.cnpso.embrapa.br/producaosoja/index.htm>. Acesso em: 04 de Setembro de 2013.

WUTKE, E. B.; ARÉVALO, R. A. Adubação verde com leguminosas no rendimento da cana-de-açúcar e no manejo de plantas infestantes. Campinas: **Instituto Agrônomo**, 2006. 28p. Série Tecnologia APTA. Boletim Técnico IAC, 1985.

ZOTARELLI, L. **Balço de nitrogênio na rotação de culturas em sistema de plantio direto e convencional na região de Londrina - PR**. 2000. 134p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica.

# **CAPÍTULO 1 - VARIABILIDADE ESPACIAL DE CROTALÁRIA JUNCEA SOB EFEITO RESIDUAL DE NÍVEIS DE NITROGÊNIO E SALINIDADE DA ÁGUA**

## **RESUMO**

O trabalho enfoca a *Crotalaria juncea* L., leguminosa de clima tropical, muito utilizada como adubo verde por ter crescimento rápido, grande potencial de produção de biomassa, ciclagem de nutrientes do solo e fixação de nitrogênio atmosférico. Além disso, há o problema do grande volume de águas de qualidade inferior, que podem ser utilizadas para o aumento da área irrigada, embora a maioria das fontes de água da região Nordeste apresente boa qualidade. O objetivo do trabalho foi, por meio do cultivo do adubo verde crotalaria juncea, avaliar o efeito residual no solo de níveis de salinidade da água e doses de nitrogênio e a existência de dependência espacial dentro da área de experimento. O local do experimento foi a Fazenda Experimental Rafael Fernandes, da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), Mossoró-RN. Em anos anteriores, a área experimental recebeu seis experimentos consecutivos para testar níveis de nitrogênio e de salinidade da água sobre diferentes culturas. O mesmo delineamento foi aplicado a este experimento, ou seja, blocos ao acaso, com parcelas subdivididas 5 x 3, correspondentes ao efeito residual de salinidade e nitrogênio, com quatro repetições. As variáveis estudadas foram: altura de plantas em seis datas após semeadura, massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca da raiz (MSR) e massa seca total (MST). Os resultados foram submetidos à análise de variância do efeito residual e, em seguida, ao estudo da variabilidade espacial das variáveis por meio de técnicas geoestatísticas. A análise da variância não indicou efeito residual significativo dos níveis de salinidade e doses de Nitrogênio no solo sobre as variáveis de crescimento e de massa seca da crotalaria juncea. O uso de técnicas geoestatísticas permitiu localizar regiões no campo com diferentes valores das variáveis estudadas. Observou-se dependência espacial de moderada a forte de todas as variáveis de crescimento e massa seca dentro da área experimental.

**Palavras-chave:** Adubação verde. Dependência espacial. Geoestatística.

## CHAPTER 1 - SPATIAL VARIABILITY OF CROTALÁRIA JUNCEA UNDER RESIDUAL EFFECT OF NITROGEN AND WATER SALINITY

### ABSTRACT

This work deals with *Crotalaria juncea* L., a tropical legume, largely used as green manure due to its characteristics of fast growth, large biomass production, nutrient cycling capacity and atmospheric nitrogen fixation. Another issue is the problem of using large volume of low quality water, available for increasing irrigated areas, although most water sources in Brazilian Northeast present good quality. This work had as objectives to use *crotalaria juncea* for evaluating the residual effect in the soil of water salinity levels and nitrogen doses, and the occurrence of spatial dependence into the experimental area. The trial was carried out at the experimental farm of Federal Rural University of Semiarid (UFERSA), at Mossoró, RN, Brazil. In previous years, the experimental area received six consecutive trials, which tested different levels of nitrogen and water salinity on different crops. The same experimental design was applied to this trial, namely randomized blocks with split plots 5 x 3, corresponding to the residual effect of salinity and nitrogen, with four replications. Variables determined were: plant height in six dates after seeding, shoot dry mass (MSPA), root dry mass (MSR) and whole plant dry mass (MST). Data were first submitted to variance analysis for residual effects, than to a study of spatial variability by means of geostatistics. Variance analysis did not show significant residual effect in the soil of salinity levels and nitrogen doses on growth and dry mass of *crotalaria juncea*. The use of geostatistical procedures allowed the localization in the field of regions with different levels of the variables studied. Moderate to strong spatial dependence was observed for all variables of growth and dry mass of *crotalaria juncea*.

**Keywords:** Green manuring. Spatial dependence. Geostatistics.

## 1 INTRODUÇÃO

A adubação verde é realizada desde a antiguidade, consistindo da utilização de espécies vegetais, principalmente leguminosas, para reciclar nutrientes do solo e fixar nitrogênio atmosférico (Amado et al., 2001). Tais espécies, também designadas como plantas de cobertura, podem ser utilizadas em pré-plantio, consórcio ou pós-plantio de culturas anuais ou perenes, podendo ser incorporadas ou não ao solo.

Os adubos verdes e seus resíduos aportam grande variedade de substâncias orgânicas ao solo e liberam macro e micronutrientes em formas lábeis, que podem se tornar disponíveis para culturas subsequentes, principalmente o nitrogênio (Amado; Mielniczuk; Aita, 2002). Nesse sentido, a principal vantagem das Leguminosas é reduzir a aplicação de adubo nitrogenado, devido à capacidade de fixação biológica de nitrogênio, por meio de simbiose com bactérias do gênero *Rhizobium* (Silva, 2007). Além disto, apresentam sistema radicular profundo e ramificado, capaz de extrair nutrientes das camadas mais profundas do solo (Alcântara et al., 2000).

Entre as leguminosas utilizadas para adubação verde, a crotalária juncea é uma espécie leguminosa tropical arbustiva, de ciclo anual, porte ereto e crescimento determinado, amplamente recomendada, face ao seu rápido crescimento, grande potencial de produção de biomassa e reciclagem de nutrientes, fácil decomposição e eficiência na fixação biológica do nitrogênio da atmosfera (Dourado et al., 2001; Pereira et al., 2005; Kappes, 2011). Em seus plantios são alcançadas produtividades entre 6 a 8 toneladas de massa seca por ciclo, podendo fixar entre 180 e 300 kg ha<sup>-1</sup> de N, dos quais 60% ficam no solo, 30% são aproveitados pelas plantas semeadas em sucessão e 10% se perdem do sistema solo-planta-atmosfera (Formentini et al., 2008; Lopes; Queiroz; Moreira, 2005).

Um aspecto importante da fertilidade do solo é a dinâmica do nitrogênio no sistema solo-planta, a qual é influenciada pelo sistema de cultivo, tipo de fertilizante, formas de manejo e condições edafoclimáticas (Ernani, 2003). Sabe-se que cerca de 90% do nitrogênio presente no solo está na matéria orgânica, em forma estável, porém não disponível para as plantas. Deste nitrogênio da matéria orgânica, apenas 2% a 3% são convertidos para a forma disponível a cada ano (Below, 2002).

Outro aspecto a ser abordado é o aumento da demanda por água para irrigação, que leva à utilização da maioria das fontes de boa qualidade disponível e obriga à utilizar-se águas com maiores níveis de salinidade. Isso é evidente em regiões áridas e

semiáridas. Embora a maioria das fontes de água da região Nordeste do Brasil apresente boa qualidade, existem águas de qualidade inferior, em volume bastante elevado, que podem ser utilizadas para o aumento da área irrigada (Medeiros et al., 2003).

Apesar de a irrigação ser praticada há milênios, a importância da qualidade da água só começou a ser reconhecida no início do século passado. Isso se deveu à abundância de fontes de água que, no geral, eram de boa qualidade e de fácil utilização. Entretanto, é importante determinar-se a viabilidade do uso de uma determinada água de irrigação, levando-se em consideração a concentração e composição química da mesma, a tolerância das culturas aos sais, as propriedades físicas e químicas do solo, as práticas de manejo do solo, água e culturas, as condições climáticas, o método de irrigação e as condições de drenagem (Medeiros, 1998; Figueirêdo, 2008).

Nesse contexto, ao cultivarem-se adubos verdes em condições semiáridas, deve-se considerar a necessidade de irrigação dessas plantas, as quais podem ter seu crescimento afetado pelo uso de água salina ou cultivo em solos salinizados, da mesma maneira que outras plantas, de modo que esses fatores podem influenciar diretamente a recuperação da qualidade do solo dessas áreas.

Os estudos envolvendo aspectos de solo e plantas cultivadas, geralmente são analisados por meio da estatística clássica, a qual supõe que as realizações das variáveis aleatórias são independentes entre si, ou seja, não há relação entre a variação e a distância entre os pontos de amostragem. A variável aleatória é aquela que pode tomar valores diferentes em diferentes lugares de observação, mostrando desta forma uma determinada independência entre um ponto e outro (Guerra, 1988).

Entretanto, em diversos estudos empregando técnicas de estatística clássica, como a análise de variância, observa-se a inadequação de seu uso em algumas situações envolvendo interações solo-água-planta. Nesses casos, uma opção é o emprego da geoestatística, que considera a existência de dependência da variação com relação ao espaço de amostragem. Nesse sentido, as ferramentas de geoestatística são sensíveis às correlações espaciais entre propriedades e podem descrever melhor essas interações. Segundo Reichardt (1985), a estatística clássica e a geoestatística completam-se e uma não exclui a outra, pois perguntas não respondidas por uma, muitas vezes podem ser respondidas pela outra.

Este trabalho teve como objetivo, por meio do cultivo do adubo verde crotalária juncea, avaliar o efeito residual no solo de níveis de salinidade da água e doses de nitrogênio e a existência de dependência espacial dentro da área de experimento.



## 2 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Localização do experimento

O experimento foi conduzido na Fazenda Experimental Rafael Fernandes, localizada na comunidade de Alagoinha (5°03'37"S; 37°23'50"W e altitude de 72 m), pertencente à Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), distante 20 km da cidade de Mossoró/RN. O solo da área experimental é classificado como LATOSSOLO VERMELHO AMARELO Argissólico franco arenoso (EMBRAPA, 2006).

De acordo com a classificação climática de Köppen, o clima de Mossoró é do tipo BSw<sup>h</sup>, isto é, seco, muito quente e com estação chuvosa no verão atrasando-se para o outono, apresentando temperatura média anual de 27,4 °C, precipitação pluviométrica anual muito irregular, com média de 673,9 mm e umidade relativa do ar de 68,9% (Carmo Filho; Oliveira, 1995). Segundo a classificação climática de Thornthwaite, Mossoró apresenta um clima do tipo DdA'a', ou seja, semiárido, megatérmico com pouco ou nenhum excesso de água durante o ano (Santos, 2010).

### 2.2 Histórico da área

A área experimental recebeu seis experimentos consecutivos, onde foram aplicados via fertirrigação níveis de salinidade da água, e doses de nitrogênio que diferiram a cada experimento (Tabela 1).

Tabela 1: Histórico das culturas, doses de nitrogênio e níveis de salinidade utilizados na área experimental antes do plantio de *Crotalaria juncea* L. em Mossoró–RN, 2014

Cultura	Doses de Nitrogênio (kg ha <sup>-1</sup> )			Níveis de Salinidade (dS m <sup>-1</sup> )					
	N1	N2	N3	S1	S2	S3	S4	S5	
Melancia	-	-	-	0,55	1,65	2,35	3,45	4,5	(Figueirêdo et al., 2009)
Melão	68	90	135	0,57	1,65	2,65	3,5	4,5	(Figueirêdo, 2008)
Melancia	55	106	156	0,66	1,69	2,36	3,46	3,98	(Carmo, 2009)
Abóbora	26	51	76	0,66	2,21	3,29	4,11	4,39	(Carmo, 2009)
Melão	42,5	85	127,5	0,65	1,65	2,83	3,06	4,73	(Melo et al., 2011)
Melancia	48	96	144	0,57	1,36	2,77	3,86	4,91	(Silva, 2010)
Milho	-	-	-	0,57	-	-	-	-	(Almeida, 2012)
Milho	-	-	-	0,57	-	-	-	-	(Santos, 2012)

Fonte: dados obtidos dos experimentos anteriormente instalados na área experimental.

Os experimentos foram realizados, respectivamente, nos períodos de fevereiro a abril de 2006, novembro de 2006 a fevereiro de 2007, novembro de 2007 a janeiro de 2008, fevereiro a abril de 2008, outubro de 2008 e fevereiro de 2009. Nos períodos de maio a agosto de 2010 e em novembro de 2011, foram conduzidos dois experimentos na área como forma de avaliar o efeito residual dos experimentos descritos acima, utilizando o milho híbrido AG 1051. Para tanto, a água utilizada para irrigação era de boa qualidade, proveniente de poço perfurado no aquífero Arenito Açú, cuja condutividade elétrica (CE) ( $0,57 \text{ dS m}^{-1}$ ) corresponde à água S1 aplicada nos experimentos anteriores, e as fontes de nitrogênio utilizadas foram o nitrato de cálcio e uréia.

### 2.3 Caracterização da área e delineamento experimental

Antes da instalação do experimento foram coletadas amostras de solos nas camadas de 0,0-0,15 m e 0,15-0,30 m de profundidade para caracterização química e física do solo da área experimental (Tabela 2).

Tabela 2. Caracterização físico-químicas do solo da área experimental antes do plantio de *Crotalaria juncea* L. em Mossoró– RN. UFERSA, 2014

Profundidade	N ( $\text{g kg}^{-1}$ )	pH	CE ( $\mu\text{S cm}^{-1}$ )	MO ( $\text{g kg}^{-1}$ )	P ( $\text{mg dm}^{-3}$ )	K -----( $\text{cmolc dm}^{-3}$ )-----	Na	Ca	Mg
0,0-0,15 m	0,49	7,0	26,80	1,10	77,00	0,04	0,06	1,50	0,95
0,0-0,30 m	0,28	7,2	31,60	3,09	71,30	0,07	0,08	1,29	0,87
	Areia Grossa		Areia fina		Areia	Silte		Argila	
	-----( $\text{g kg}^{-1}$ )-----								
0,0-0,15 m	600		240		840	40		120	
0,0-0,30 m	610		250		860	30		110	

Fonte: Dados obtidos na pesquisa.

O experimento foi conduzido no delineamento em blocos ao acaso, com parcelas subdivididas 5 x 3 e com quatro repetições. As parcelas corresponderam à aplicação nos anos anteriores dos cinco níveis de salinidade, e as subparcelas corresponderam à aplicação das três doses de nitrogênio. As parcelas foram constituídas de três subparcelas, ambas com três fileiras duplas de plantas, sendo consideradas as duas fileiras laterais como bordaduras e a fileira central como parcela útil, onde se encontravam as plantas avaliadas (Figura 1). As dimensões das parcelas e subparcelas

eram de 22,5 e 7,5 m de comprimento, respectivamente, correspondendo à áreas de 135 m<sup>2</sup> e 45 m<sup>2</sup>, respectivamente. A área útil para as avaliações das plantas foi de 15 m<sup>2</sup>.

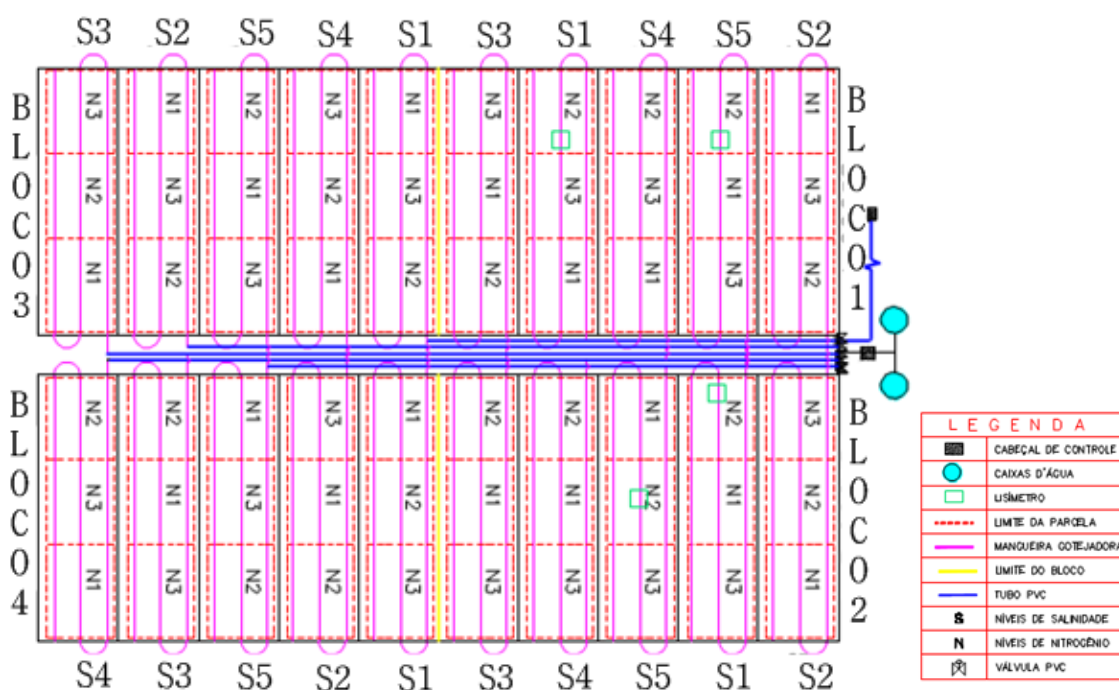


Figura 1. Croqui da área experimental, localizada na Fazenda experimental Rafael Fernandes, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró-RN, 2014

A área cultivada com a crotalária juncea (*Crotalaria juncea* L.) foi de 2700 m<sup>2</sup> (45 m largura x 60 m comprimento). A configuração de plantio utilizada foi em fileiras duplas (0,05 x 0,2 x 2,0 m) sendo 0,05 m entre plantas, 0,2 m entre fileiras simples e 2,0 m entre fileiras duplas. O preparo do solo foi realizado por meio de aração com o arado fixo e gradeação com grade niveladora. Para a semeadura, realizada nos dias 20, 21 e 22 de junho de 2012, foram utilizadas três sementes por cova. Entre sete e oito dias após a emergência das plântulas foi realizado o desbaste, permanecendo apenas uma planta por cova, resultando numa população de aproximadamente 200.000 plantas ha<sup>-1</sup>.

O controle das plantas daninhas foi realizado com enxadas, durante o período crítico de competição, de 20 a 60 dias após emergência (DAE). O controle de formigas foi realizado com isca granulada e formicida em pó, cujos princípios ativos eram Sulfluramida a 0,3 % e Malathion a 4%. irrigação diária. A irrigação era diária, com água apresentando condutividade elétrica em torno de 0,57 dS m<sup>-1</sup>, por sistema localizado por gotejamento, que constava de 30 linhas laterais com comprimento de 45 m, uma para cada fileira dupla de plantio. Os emissores eram espaçados de 0,3 m e operavam na pressão de 100 kPa, com vazão de 1,5 L h<sup>-1</sup>.

## 2.4 Análise de crescimento da cultura

A altura de plantas foi medida em 10 plantas de cada subparcela, tendo sido escolhidas aleatoriamente entre as plantas da fileira dupla central. As medidas foram tomadas por meio de régua graduada e trena métrica (Figura 2), sendo avaliadas aos 21, 28, 35, 42, 49 e 56 DAS, até a cultura atingir o florescimento pleno, quando foi incorporada ao solo.

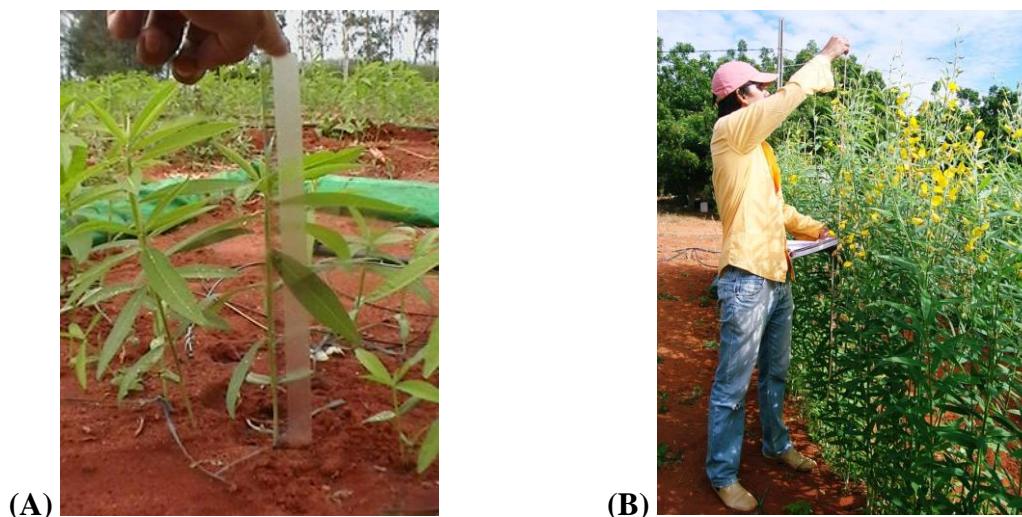


Figura 2. Avaliação de crescimento semanal da *Crotalaria juncea* L. (A) uso de régua para medição das plântulas; (B) Uso de trena para medição de plantas; na Fazenda experimental Rafael Fernandes, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró-RN, 2014

A determinação da massa fresca da raiz e da parte aérea (Figura 3) constou da coleta de 40 plantas da fileira dupla central, em um espaço de 1m de comprimento e 2m de largura, dentro da área útil de 15 m<sup>2</sup> em cada subparcela; dessas plantas, foram selecionadas aleatoriamente duas plantas, onde foram separadas parte aérea e raiz, que foram colocadas em estufa a 70 °C por 48 horas para determinar-se o conteúdo de água e, assim, calcular a massa seca da parte aérea, da raiz e total, por meio de balança de precisão. O material foi coletado em pleno florescimento, época em que a cultura foi incorporada ao solo (Figura 4).

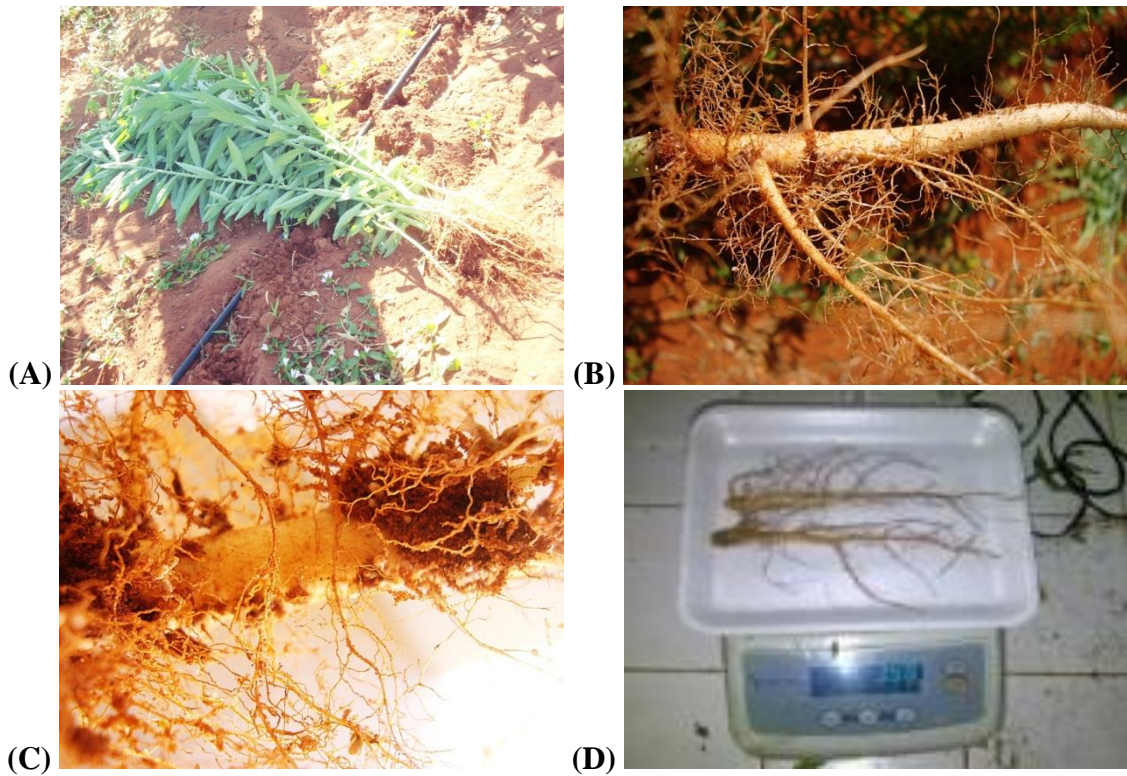


Figura 3. (A) Coleta de plantas para avaliação de massa seca da parte aérea; (B) Raíz de *Crotalaria juncea* para avaliação da massa seca; (C) Bactérias do gênero *Rhizobium*; (D) Pesagem da massa seca da raiz. Mossoró-RN, 2014



Figura 4. Fase de pleno florescimento da *Crotalaria juncea* L. na Fazenda experimental Rafael Fernandes, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró-RN, 2014

## 2.5 Análise estatística

Os resultados foram submetidos à análise de variância do efeito residual dos experimentos anteriores, utilizando delineamento em blocos ao acaso, com parcelas subdivididas 5 x 3 e quatro repetições, como já definido. Em seguida, os dados foram submetidos à análise estatística descritiva e ao estudo da variabilidade espacial das variáveis estudadas na área, por meio de técnicas geoestatísticas.

A estatística descritiva incluiu valores mínimos e máximos, média, mediana, desvio-padrão, coeficiente de variação, assimetria e curtose, utilizando o software ASSISTAT (Silva; Azevedo, 2006). A hipótese da normalidade dos dados foi testada pelo teste W, (Shapiro; Wilk, 1965).

Conforme o teste de normalidade verificou-se também a necessidade de transformar os dados e de avaliar as hipóteses de homogeneidade da média e independência da variância. Para tanto, utilizou-se a proposição de Libardi et al. (1996), considerados como prováveis dados discrepantes, valores menores que a diferença entre o quartil inferior e 1,5 vez a amplitude interquartílica, ou maior que a soma do quartil superior com 1,5 vez a amplitude interquartílica. Os dados que não se adequaram à normalidade após a transformação dos dados discrepantes foram submetidos à transformação para Logaritmo.

O estudo da variabilidade espacial das variáveis estudadas por meio de técnicas geoestatísticas utilizou os dados de cada subparcela como sendo uma amostra, totalizando 60 amostras, as quais foram georeferenciadas segundo coordenadas cartesianas, correspondentes ao centro de cada subparcela. Dessa maneira, a grade de amostragem apresentava espaçamento de 6 m na direção Y e 7,5 m na direção X. A dependência espacial foi avaliada com base nas pressuposições de estacionaridade da hipótese intrínseca (Vieira, 2000), pela análise de semivariogramas ajustados por meio de versão demonstrativa do software GS+ 9 (Gamma Design Software). O semivariograma foi estimado por:

$$\hat{\gamma}(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i + h) - Z(x_i)]^2 \quad (1)$$

em que,  $\gamma^*(h)$  é a estimativa da semivariância experimental, obtida pelos valores amostrados  $[Z(x_i), Z(x_i + h)]$ ,  $h$  é a distância entre pontos amostrais e  $N(h)$  é o número total de pares de pontos possíveis, dentro da área de amostragem, com a distância  $h$ .

O nível de variabilidade dos parâmetros analisados foi classificado conforme o coeficiente de variação (CV), segundo Warrick (1998), em baixa para CV menor que 15%, média para CV entre 15 e 50% e alta para CV acima de 50%. Os modelos de ajuste considerados para os semivariogramas foram estabelecidos considerando o melhor coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e soma dos quadrados do resíduo (SQR). Segundo Robertson (1998) a SQR é um parâmetro mais robusto do que o  $R^2$  e propicia uma medida exata, segundo a qual o modelo se ajusta melhor aos dados.

A partir dos pontos amostrais, analisaram-se a estrutura e a dependência espacial através dos semivariogramas experimentais. A distância na qual  $\gamma(h)$  atinge o patamar é chamada de alcance, recebe o símbolo de ( $A_0$ ), e é a distância limite de dependência espacial. O erro cometido, devido ao espaçamento mínimo de amostragem, é definido pelo efeito pepita ( $C_0$ ) e o ponto em que toda semivariância da amostra é de influência aleatória, é definido pelo patamar ( $C+C_0$ ) (Vieira, 2000). O efeito pepita refere-se ao valor do semivariograma na interceptação do eixo Y e representa a variação aleatória. Dividindo-se o efeito pepita pelo valor do patamar, o grau de dependência espacial das variáveis pode ser avaliado. Portanto a classificação do grau da dependência espacial (GDE) foi feita com base na razão entre o efeito pepita e o patamar [ $C_0/(C_0 + C_1)$ ], sendo considerada forte se a razão for  $\leq 0,25$ , moderada quando esta entre 0,26 e 0,74 e fraca se  $\geq 0,75$  (Cambardella et al., 1994).

A estimativa espacial foi realizada por interpolação dos valores não amostrados, pelo método da krigagem, de modo a definir o padrão espacial das variáveis estudadas, o que permitiu a elaboração dos mapas de distribuição espacial.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A altura da crotalária juncea, nas semanas avaliadas, não sofreu efeito residual significativo dos fatores estudados (Tabela 3). Da mesma maneira, não foi observada interação significativa entre os fatores salinidade e nitrogênio em nenhuma das semanas. Essas observações são corroboradas por Almeida (2012), que não observou efeito residual significativo de níveis de salinidade e doses de nitrogênio para o componente altura de plantas de milho em experimento na mesma área experimental, e por Bezerra et al. (2010), que não observaram efeito da salinidade residual, o que pode ser atribuído ao fato de a cultura ser moderadamente resistente a salinidade, bem como a lixiviação do N na camada superficial e/ou a própria extração deste nutriente pela cultura antecessora, o milho, embora tenha sido adubada com as mesmas doses de N.

Tabela 3. Análise de variância da altura da *Crotalaria juncea* L. sob efeito residual dos fatores salinidade e nitrogênio, avaliado em semanas consecutivas

Fonte de variação	GL	21 Dias	28 Dias	35 Dias	42 Dias	49 Dias	56 Dias
(cm)							
Quadrados Médios							
Bloco	3	141,84*	407,35 <sup>ns</sup>	1433,35**	1657,89**	2616,89**	401,47 <sup>ns</sup>
Sal	4	20,60 <sup>ns</sup>	186,74 <sup>ns</sup>	300,43 <sup>ns</sup>	325,27 <sup>ns</sup>	161,82 <sup>ns</sup>	90,39 <sup>ns</sup>
Erro a	12	28,69	141,96	239,31	263,97	174,68	207,08
Nit	2	1,14 <sup>ns</sup>	7,98 <sup>ns</sup>	98,68 <sup>ns</sup>	12,63 <sup>ns</sup>	9,80 <sup>ns</sup>	30,52 <sup>ns</sup>
Sal x Nit	8	17,87 <sup>ns</sup>	58,59 <sup>ns</sup>	184,31 <sup>ns</sup>	171,99 <sup>ns</sup>	102,14 <sup>ns</sup>	66,17 <sup>ns</sup>
Erro b	30	12,43	30,55	92,75	109,25	77,90	59,10
MG		26,66	42,74	77,32	117,64	134,25	160,13

GL = grau de liberdade; Sal = Salinidade; Nit = Nitrogênio; MG = Média geral; <sup>ns</sup> não significativo; \*\* significativo a 1% de probabilidade pelo teste F; \* significativo a 5% de probabilidade pelo teste F

A salinidade da água, doses de nitrogênio e a interação entre elas, também não exerceram efeito residual significativo sobre Massa Seca da Parte Aérea (MSPA), Massa Seca da Raiz (MSR) e Massa Seca Total (MST) da crotalária juncea (Tabela 4). A ausência de efeito residual foi observada em outros estudos, entre os quais Nunes et al. (2009) com a massa seca de crotalária juncea, quando testaram fontes e níveis de salinidade na germinação de sementes; Lima et al. (2011), para fitomassa seca da parte aérea da mamoneira, quando avaliaram a interação entre salinidade da água e doses de nitrogênio, denotando resposta semelhante de doses de N dentro de salinidade da água; e Nobre et al. (2010) sobre variáveis de girassol, que observaram comportamento



semelhante de doses de N em diferentes níveis de salinidade da água de irrigação. De acordo com a média geral da massa seca produzida pela crotalária juncea (Tabela 4), a leguminosa atingiu produção em toneladas por hectare de 13,33 pra massa seca da parte aérea, 2,43 pra massa seca da raiz, e um total de 15,76 pra massa seca total.

Tabela 4. Análise de variância da massa seca da parte aérea, de raízes, e total da *Crotalaria juncea* L. aos 56 DAS, sob efeito residual dos fatores salinidade e nitrogênio

Fonte de variação	GL	Massa Seca da Parte Aérea (g/planta)	Massa Seca da Raiz (g/planta)	Massa Seca Total (g/planta)
Quadrados Médios				
Bloco	3	253,16 <sup>ns</sup>	32,01 <sup>ns</sup>	435,86 <sup>ns</sup>
Sal	4	84,57 <sup>ns</sup>	5,38 <sup>ns</sup>	100,08 <sup>ns</sup>
Erro 1	12	209,21	14,42	312,91
Nit	2	18,50 <sup>ns</sup>	8,42 <sup>ns</sup>	11,94 <sup>ns</sup>
Sal x Nit	8	116,14 <sup>ns</sup>	4,87 <sup>ns</sup>	159,02 <sup>ns</sup>
Erro 2	30	83,57	8,55	132,58
MG		35,99	6,56	42,55

GL= graus de liberdade; Sal= Salinidade; Nit= Nitrogênio; MG= Média geral; <sup>ns</sup> não significativo

A aplicação dos critérios citados por Libardi et al. (1996), permitiu identificar cinco valores externos na distribuição da variável 42 DAS e um valor na distribuição para 49 DAS. Por isso, foram calculadas as estatísticas descritivas após a remoção desses valores (Tabela 5). Mesmo assim, observa-se que os valores de média e mediana aumentaram consistentemente a cada avaliação semanal, mas permaneceram próximos entre si. Isso indica simetria das distribuições simétricas, comprovada pelos valores de assimetria, próximos de zero para todas as variáveis, e pelo ajuste delas à distribuição normal, conforme o teste de Shapiro-Wilk (S-W). O uso dos parâmetros simetria e curtose é referido por Vieira, et al. (2010) como indicativos do ajuste dos dados à distribuição normal, para o qual esses coeficientes apresentam valores de zero e três, respectivamente. A normalidade dos dados é importante por facilitar o ajuste dos semivariogramas (Machado et al., 2007) e por favorecer a estimativa de valores em pontos não amostrados, por meio da krigagem (Paz-Gonzalez et al., 2001).

A proximidade entre a média e mediana também pode ser observado na Tabela 6, para as variáveis de MSPA, MSR e MST, após transformação dos dados. Os resultados apresentam ajuste à distribuição normal, confirmado também pelo teste de Shapiro-Wilk (S-W). Analisando-se a variabilidade dos dados, conforme Warrick

(1998), os coeficientes de variação observados na Tabela 5, são considerados baixos para as variáveis de crescimento aos 42, 49 e 56 DAS e médios para as demais datas.

Tabela 5. Estatística descritiva de evolução semanal da altura de plantas de *Crotalaria juncea* L. dos 21 aos 56 DAS

	21 Dias	28 Dias	35 Dias	42 Dias*	49 Dias*	56 Dias
	(cm)					
Média	26,66	42,74	77,32	120,81	134,25	160,13
Mediana	26,38	41,63	76,50	120,00	136,25	159,5
Mínimo	14,00	19,00	39,00	92,00	96,05	138,50
Máximo	39,50	62,75	108,00	145,00	157,50	186,50
Desvio padrão	4,82	9,27	14,75	11,60	15,28	10,43
Assimetria	-0,06	-0,00	-0,24	-0,11	-0,69	0,06
Curtose	0,63	-0,04	0,10	0,17	0,29	-0,25
CV%	18,08	21,70	19,07	9,60	11,38	6,51
Teste S-W						
W	0,98	0,99	0,98	0,98	0,96	0,99
Pr	0,48	0,68	0,65	0,62	0,08	0,87

CV= Coeficiente de Variação; \*Dados dos valores após a remoção dos Outliers

Tabela 6. Estatística descritiva da Massa Seca da Parte Aérea (MSPA), Massa Seca da Raíz (MSR) e Massa Seca total (MST) da *Crotalaria juncea* L. aos 56 DAS

	MSPA	MSR*	MST
	(g planta <sup>-1</sup> )	(g planta <sup>-1</sup> )	(g planta <sup>-1</sup> )
Média	35,99	6,56	42,55
Mediana	35,65	6,00	41,64
Mínimo	18,30	2,25	22,55
Máximo	67,94	16,70	84,64
Desvio padrão	10,96	3,20	13,38
Assimetria	0,64	1,19	0,73
Curtose	0,39	1,16	0,78
CV%	30,44	48,75	31,45
Teste S-W			
W	0,96	0,98	0,96
Pr	0,08	0,62	0,07

\* Dados dos valores transformados em Log

Quanto aos CV de MSPA, MSR e MST (Tabela 6), foram classificados como médios, com valores de 30,44, 48,75 e 31,45%, respectivamente. A variabilidade dos dados também foi analisada por Salviano et al. (1998), em trabalho sobre variabilidade espacial de *crotalaria juncea*, que obteve coeficientes de variação coerentes com os

deste trabalho. Se for usada interpretação dada por Vanni (1998), o fato de que os CV das variáveis de altura de plantas serem menores que 35%, indica que a série de dados é homogênea e que a média é representativa dos dados. O mesmo se verifica para MSPA, enquanto que os CV maiores que 35% para MSR e MST, indicam série heterogênea e média de pouco significado (Tabela 6). Segundo o mesmo autor, CV maior que 65% indica série de dados muito heterogênea e nenhum significado da média.

O ajuste dos modelos de semivariograma e a análise de seus parâmetros (Tabela 7) indica que a altura da crotalaria apresentou dependência espacial para todas as semanas avaliadas, tendo se ajustado ao modelo gaussiano, com exceção dos 56 DAS, que apresentou melhor ajuste ao modelo exponencial. Apesar de que, em estudos de variabilidade espacial, os modelos esférico e exponencial sejam obtidos mais frequentemente em relação aos outros modelos, o gaussiano é um modelo transitivo, muitas vezes usado para modelar fenômenos extremamente contínuos (Silva, 2007).

Tabela 7. Parâmetros dos modelos ajustados aos semivariogramas isotrópicos para o Crescimento semanal da *Crotalaria juncea* L. dos 21 aos 56 DAS

Variável	Modelo	Efeito Pepita	Patamar	Alcance	R <sup>2</sup>	GDE	SQR
		(Co)	(Co+C)	Ao			
21 DAS	Gaussiano	11,14	29,19	29,95	0,98	0,38	1,05
28 DAS	Gaussiano	19,50	110,00	23,06	0,99	0,18	21,7
35 DAS	Gaussiano	55,00	310,90	26,45	0,99	0,18	28,3
42 DAS	Gaussiano	53,00	174,00	23,13	0,99	0,30	14,8
49 DAS	Gaussiano	39,20	241,40	22,29	0,99	0,16	3,33
56 DAS	Exponencial	13,40	195,30	25,57	0,99	0,07	25,0

R<sup>2</sup>: coeficiente de determinação; GDE: grau de dependência espacial; SQR: Soma do quadrado dos resíduos

A dependência espacial observada pode estar associada a variações intrínsecas do conjunto de outras características do solo, sobrepondo-se ao efeito residual dos níveis de salinidade e doses de nitrogênio utilizadas. Nesse sentido, Salviano et al. (1998) afirmam que o desenvolvimento da planta é consequência de combinação de variáveis de solo e Miranda et al. (2005) relacionam a variabilidade no estande das culturas a propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, fatores climáticos, como precipitação e ao manejo, como aplicação desuniforme insumos agrícolas.

As pequenas diferenças entre os valores de alcance (de 22,9 m aos 21 DAS a 29,95 m aos 49 DAS) dos modelos para a altura de plantas, ao longo das avaliações (Tabela 7) indica tratar-se de um mesmo fenômeno, que apresenta variabilidade espacial

e temporal. Esses valores diferem pouco do encontrado por Salviano et al. (1998), quando avaliou o crescimento da crotalária juncea até o período de floração. O valor de alcance tem implicação prática na condução de experimentos, porque define a distância na qual os pontos amostrais estão espacialmente correlacionados entre si e podem ser utilizados para estimar valores em qualquer ponto entre eles (Machado et al., 2007); além disso, para garantir a dependência espacial, os pontos amostrais devem ser coletados a uma distância equivalente à metade do alcance (Souza et al., 2006).

A avaliação do Grau de Dependência Espacial (GDE), conforme Cambardella et al. (1994), indica forte dependência espacial das variáveis de crescimento aos 28, 35, 49 e 56 DAS, enquanto que aos 21 e 42 DAS a dependência foi moderada (Tabela 7). Dependência espacial forte foi observada por Salviano et al. (1998) para as variáveis de crescimento e massa seca da crotalária juncea em solo erodido.

As variáveis de massa seca da crotalária (Tabela 8) também apresentaram dependência espacial e se ajustaram ao modelo exponencial (MSPA e MST) e esférico (MSR). O alcance de dependência espacial observado para MSR é o menor obtido neste trabalho, indicando que para essa variável, as amostras seriam independentes a uma distância de 11,04 m. Os outros valores de alcance, 35,02 m de MSPA e 33,38 m de MST são próximos aos 32 m obtidos para MS da crotalária por Salviano et al. (1998).

Tabela 8. Parâmetros dos modelos ajustados aos semivariogramas isotrópicos de Massa Seca da Parte Aérea (MSPA), Massa Seca da Raíz (MSR) e Massa Seca total (MST) da *Crotalária juncea* L. aos 56 DAS

Variável	Modelo	Efeito Pepita	Patamar	Alcance	R <sup>2</sup>	GDE	SQR
		(Co)	(Co+C)	Ao			
MSPA	Exponencial	70,60	177,40	35,02	0,67	0,40	340
MSR*	Esférico	0,0027	0,2034	11,04	0,67	0,01	1,461x10 <sup>-4</sup>
MST	Exponencial	170,70	250,20	33,38	0,69	0,43	577

\* Dados dos valores transformados em Log; R<sup>2</sup>: coeficiente de determinação; GDE: grau de dependência espacial; SQR: Soma do Quadrado dos Resíduos

Considerando o GDE das variáveis de Massa Seca da crotalária juncea (Tabela 8), verifica-se moderada dependência espacial para as variáveis de MSPA e MST, enquanto a dependência espacial da MSR foi classificada como forte. De acordo com Guimarães (2004), fenômenos naturais apresentam frequentemente certa estruturação na variação entre vizinhos, a qual pode indicar que as variações não são aleatórias.

A análise das médias semanais e outros parâmetros da altura de plantas na

Tabela 4 evidencia o crescimento consistente da cultura. Entretanto, os mapas de isovalores de cada data (Figura 5) apresentam uma tendência bem evidente na evolução espacial, que consiste na formação de área central com valores baixos e dos maiores valores nas laterais. A formação gradativa dessa região com valores baixos pode indicar problemas de irrigação ou fertilização, sendo a resposta da mais intensa, à medida que se aproximava da floração, período de maior mobilização de nutrientes pela planta. Outra possibilidade é a ocorrência de fatores localizados do solo, cujo efeito prejudicial seria mais intenso do que o efeito residual dos níveis de salinidade e doses de nitrogênio, explicando porque não apresentaram efeito significativo no crescimento da crotalária.

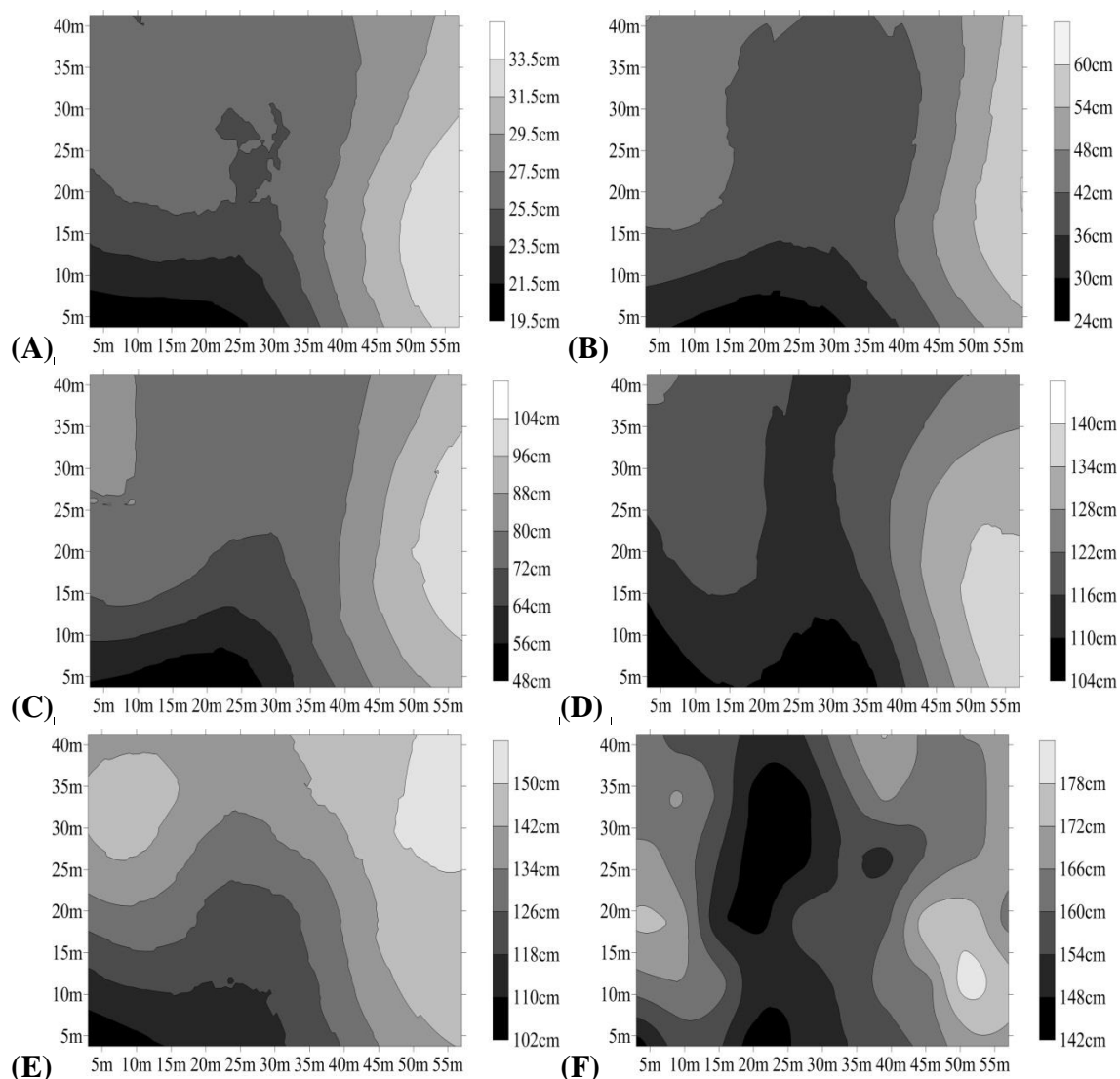


Figura 5. Mapas de isovalores das variáveis de crescimento semanal da *Crotalaria juncea* aos (A) 21 DAS, (B) 28 DAS, (C) 35 DAS, (D) 42 DAS, (E) 49 DAS e (F) 56 DAS. Mossoró, 2014

Os mapas ilustram a evolução temporal e espacial da altura das plantas: aos 21 DAS (Figura 5A) é maior proporção de regiões com valores mais baixos no lado esquerdo do mapa (blocos 3 e 4 da Figura 1), aumentado progressivamente para o lado direito (blocos 1 e 2); aos 28 DAS (Figura 5B) evidencia-se região com valores mais baixos na parte inferior esquerda da figura (Bloco 4 da Figura 1), estendendo-se para o centro e para cima, destacando-se região central com valores intermediários; aos 35 DAS (Figura 5C) manteve-se a região inferior com valores baixos (Bloco 4), mas a faixa central de valores intermediários tornou-se mais estreita, ressaltando-se os maiores valores no lado direito; aos 42 DAS (Figura 5D) é mais evidente a predominância dos maiores valores na parte central inferior da área e de valores intermediários em quase toda a área experimental; aos 49 DAS (Figura 5E) observa-se maior equilíbrio dos valores, com os intermediários na região central e aumento para as laterais; aos 56 DAS (Figura 5F) destaca-se faixa central vertical com baixos valores, ocupando grande proporção da área, em relação a outros valores. Observa-se também predominância de valores intermediários, aumentando para as laterais, enquanto os maiores valores ficam restritos a pequenas regiões em cada lateral da área (Blocos 2 e 4).

O mapa de isovalores da Massa Seca da Parte Aérea (Figura 6A), que variou entre 27 e 49 g planta<sup>-1</sup> apresenta uma região destacada de valores baixos com maior área no bloco 4 e parte no bloco 3 (Figura 1). Dessa região, os valores aumentam em direção à parte inferior do mapa. Observa-se, também, concentração de valores intermediários de MSPA na lateral direita do mapa, entre os blocos 1 e 2 (Figura 1). A concentração de valores baixos de massa seca nessa região indica a ocorrência de problema localizado de solo ou de manejo, da mesma maneira que ocorreu com a altura. O mapa de isovalores da Massa Seca Total apresenta grande semelhança com o de MSPA (Figura 6C). Isso é explicado porque a MSPA contribui com 85% da MST. Desta maneira, toda discussão envolvendo a massa seca pode ser englobada na discussão sobre a parte aérea.

O mapa de isovalores de MSR (Figura 6B) apresenta pequenas regiões bem definidas, nas quais se localizam os maiores ou menores valores. Como o valor do alcance é pouco maior do que a dimensão das parcelas, existe a possibilidade de que cada região com valores específicos esteja expressando o efeito residual dos tratamentos de experimentos anteriores. Nesse caso, regiões com maior desenvolvimento das raízes corresponderiam às subparcelas que apresentaram efeito residual das maiores dosagens de nitrogênio aplicado ao solo e dos menores níveis de salinidade. Nesse sentido, Bosco

et al. (2009) afirmam que plantas cultivadas sob salinidade tendem a absorver menos nitrogênio e Nobre et al. (2010) afirmam que a salinidade da água pode comprometer a absorção de N devido a competição iônica nos sítios de adsorção.

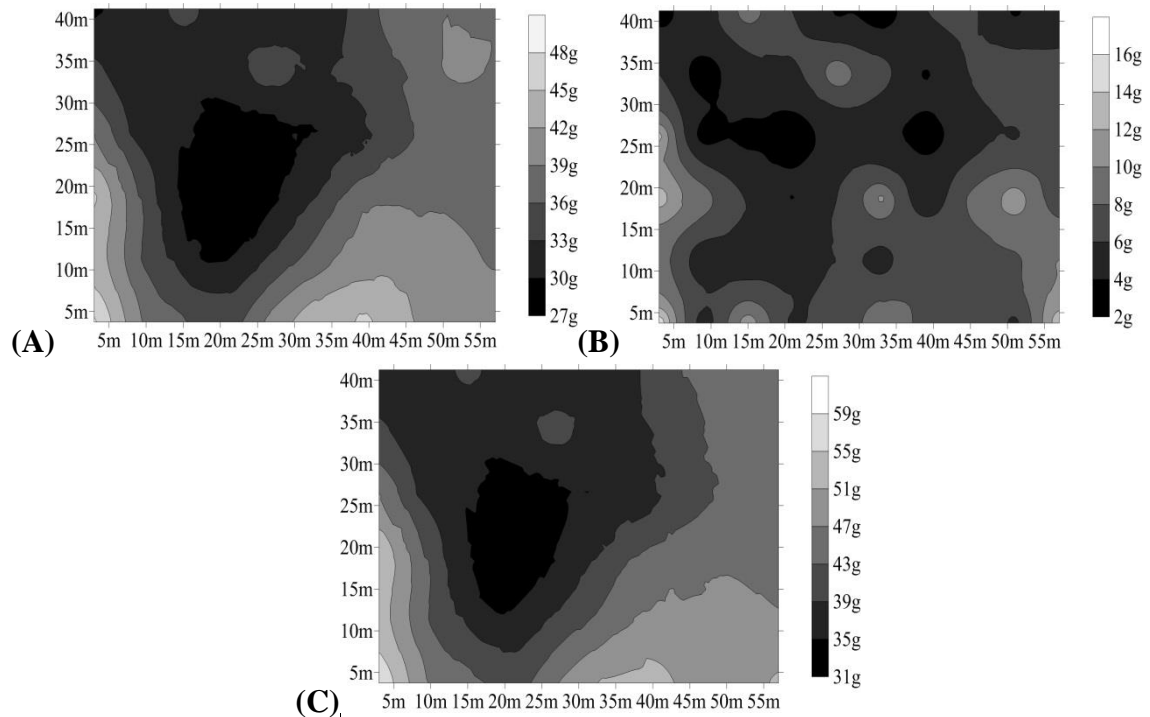


Figura 6. Mapas de isovalores das variáveis (A) Matéria seca da parte aérea - MSPA, (B) Matéria seca da raiz - MSR, (C) Matéria seca total – MST, na área de amostragem. Mossoró, 2014

## 4 CONCLUSÕES

Não constatou-se efeito residual dos níveis de salinidade da água e das doses de nitrogênio sobre as variáveis de crescimento e de massa seca da *Crotalaria juncea*;

Foi observada dependência espacial de moderada a forte para todas as variáveis de crescimento e massa seca da crotalaria juncea;

A confecção de mapas de isovalores das variáveis estudadas permitiu localizar no campo regiões onde o desenvolvimento da crotalaria juncea foi prejudicado por possíveis problemas de solo ou de manejo;

A realização de experimentos conforme a estatística convencional, dentro da área experimental, só é viável se os pontos amostrais estiverem localizados a distâncias maiores do que 30 m para as variáveis de crescimento e maiores do que 35 m para a massa seca da parte aérea da crotalaria juncea.



## LITERATURA CITADA

ALCÂNTARA, F. A.; FURTINI NETO, A. E.; PAULA, M. B. DE; MESQUITA, H. A.; MUNIZ, J. A. Adubação verde na recuperação da fertilidade de um Latossolo Vermelho-Escuro degradado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.35, n.2, p.277-288, 2000.

ALMEIDA, B. M. **Evapotranspiração, coeficiente de cultura e produção do milho sob condições de salinidade residual**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, RN, 2012, 82f.

AMADO, T. J. C.; BAYER, C.; ELTZ, F. L. F.; BRUM, A. C. R. Potencial de culturas de cobertura em acumular carbono e nitrogênio no solo no plantio direto e a melhoria da qualidade ambiental. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.25. 2001, p.189-197.

AMADO, T. J. C.; MIELNICZUK, J.; AITA, C. Recomendação de adubação nitrogenada para o milho no RS e SC adaptada ao uso de culturas de cobertura do solo, sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 26, n. 01 p. 241-248, 2002.

BELOW, F.E. Fisiologia, nutrição e adubação nitrogenada do milho. **Informações agrônômicas**, Piracicaba, n.99, p.7-12, set. 2002.

BEZERRA, A. K. P.; LACERDA, C. F.; HERNADEZ, F. F. F.; SILVA, F. B.; GHEYI, H. R. Rotação cultural feijão caupi/milho utilizando-se águas de salinidades diferentes. **Ciência Rural**, v.40, n.5, mai, 2010.

CAMBARDELLA, C. A.; MOORMAN, T. B.; NOVAK, J. M.; PARKIN, T. B.; KARLEN, D. L.; TURCO, R. F.; KONOPKA, A. E. Field-scale variability of soil properties in Central Iowa Soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.58, n. 5, p. 1501-1511, 1994.

CARMO, G. A. **Crescimento, nutrição e produção de cucurbitáceas cultivadas sob diferentes níveis de salinidade da água de irrigação e doses de adubação nitrogenada**. Tese (Doutorado em Fitotecnia: Área de concentração em Produção Vegetal) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA, Mossoró, 2009. 182 f.

CARMO FILHO F.; OLIVEIRA O. F. Mossoró: um município do semi-árido nordestino, caracterização climática e aspecto florístico. Mossoró: ESAM, (**Coleção Mossoroense, Série B**) 62p. 1995.

DOURADO, M. C.; SILVA, T. R. B.; BOLONHEZI, A. C. Matéria seca e produção de grãos de *Crotalaria juncea* L. submetida à poda e adubação fosfatada. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 58, n. 2, p. 287-293, 2001.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos, 1997. 212p.

EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2.Ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 2006. 412p.

ERNANI, P. R. 2003. Disponibilidade de nitrogênio e adubação nitrogenada para a macieira. Graphel, Lages, Brasil, 76p.

FIGUEIRÊDO, V. B. **Evapotranspiração, crescimento e produção da melancia e melão irrigados com águas de diferentes salinidades**. Tese (Doutorado), Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, SP, 104f. 2008.

FIGUEIRÊDO, V. B.; MEDEIROS, J. F.; ZOCOLER, J. L.; ESPINOLA SOBRINHO, J. Evapotranspiração da cultura da melancia irrigada com água de diferentes salinidades. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 29, n. 2, p. 172-338, abr./jun. 2009.

FORMENTINI, E. A.; LÓSS, F. R.; BAYERL, M. P.; LOVATI, R. D.; BAPTISTA, E. **Cartilha sobre adubação verde e compostagem**. Vitória, 2008, 27p

GAMMA DESIGN SOFTWARE. GS+® - **Geostatistics for the Environmental Sciences**. Version 7.0. Michigan: 2004. 1 CD-ROM..

GUERRA, J. G. M.; DE-POLLI, H.; ALMEIDA, D. L. Managing carbon and nitrogen in tropical organic farming through green manuring. In: ADETOLA BADEJO, M.; TOGUN, A. O. (Eds.). **Strategies and tactics of sustainable agriculture in the tropics**. Ibadan: College Press, 2004. p. 125-140.

GUERRA, P.A.G. **Geoestatística operacional**. Brasília: Ministério das Minas e Energia, Departamento de Produção Mineral, 1988. 145p.

GUIMARÃES, E. C. **Geoestatística básica e aplicada**. UFU/ FAMAT. Núcleo de estudos estatísticos e biométricos. 2004. 48 p. Disponível em: <[www.famat.ufu.br/ednaldo/geoest/apgeo1.pdf](http://www.famat.ufu.br/ednaldo/geoest/apgeo1.pdf)>. Acesso em: 10 de ago. 2009.

KAPPES, C. Utilizações e benefícios da crotalária na agricultura. **Revista Panorama Rural**, Ribeirão Preto, n. 147, p. 16-17, 2011.

LIBARDI, P. L.; MANFRON, P. A.; MORAES, S. O.; TUON, R. L. Variabilidade da umidade gravimétrica de um solo hidromórfico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.20, p.1-12, 1996.

LIMA, G. S.; SOARES, L. A. A.; NOBRE, R. G.; GHEYI, H. R.; SILVA, S. S. influência do estresse salino e da adubação nitrogenada no crescimento da mamoneira cv. BRS energia. **Revista Verde** (Mossoró – RN – Brasil) v.6, n.3, p.213 – 221, 2011.

LOPES, H. M.; QUEIROZ, O. A. e MOREIRA, L. B. Características agrônômicas e qualidade de sementes de crotalária (*Crotalaria juncea* L.) na maturação. **Revista Universidade Rural**, Rio de Janeiro, v. 25, n. 2, p.24-30, 2005.

MACHADO, L. O; LANA, A. M. Q.; LANA, R. M. Q.; GUIMARÃES, E. C.; FERREIRA, C. V. Variabilidade espacial de atributos químicos do solo em áreas sob

sistema plantio convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 3, p. 591-599, 2007.

MEDEIROS, J. F. **Manejo da água de irrigação salina em estufa cultivada com pimentão**. Piracicaba, 1998, 152p. Tese (Doutorado em Agronomia/Irrigação e Drenagem) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP, 1998.

MEDEIROS, J. F.; LISBOA, R. A.; OLIVEIRA, M.; SILVA JÚNIOR, M. J.; ALVES, L. P. Caracterização das águas subterrâneas usadas para irrigação na área produtora de melão da Chapada do Apodi. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.7, n.3, p.469-472, 2003.

MELO, T. K.; MEDEIROS, J. F.; ESPÍNOLA SOBRINHO, J.; FIGUEIRÊDO, V. B.; PEREIRA, V. C.; CAMPOS, M. S. Evapotranspiração e produção do melão Gália irrigado com água de diferentes salinidades e adubação nitrogenada. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, UAEEA/UFCG, v.15, n.12, p.1235–1242, 2011.

MIRANDA, N. O.; OLIVEIRA, T. S.; MEDEIROS, J. F. DE; SILVA, C. A. Variabilidade espacial da produtividade do meloeiro em áreas de cultivo fertirrigado. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.23, n.2, p.260-265, 2005

NOBRE, R. G.; GHEI, H. R.; CORREIA, K. G.; SOARES, F. E. L.; ANDRADE, L. O. Crescimento e floração do girassol sob estresse salino e adubação nitrogenada. Centro de Ciências Agrárias - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE. **Revista Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v. 41, n. 3, p. 358-365, jul-set, 2010

NUNES, A. S.; LOURENÇÃO, A. L. F.; PEZARICO, C. R.; SCALON, S. P. Q.; GONÇALVES, M. C. Fontes e níveis de salinidade na germinação de sementes de *Crotalaria juncea* L. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 33, n. 3, p. 753-757, maio/jun., 2009.

PAZ-GONZALEZ, A.; TABOADA CASTRO, M. T.; VIEIRA, S. R. Geostatistical analysis of heavy metals in a one-hectare plot under natural vegetation in a serpentine area. **Canadian Journal of Soil Science**, Ottawa, v. 81, p. 469-479, 2001.

PEREIRA, A. J. et al. **Desempenho agrônômico de *Crotalaria juncea* em diferentes arranjos populacionais e épocas do ano**. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2005. (Comunicado técnico, 82).

REICHARDT, K. **Processos de transferência no sistema solo-planta-atmosfera**. Campinas, Fundação Cargill, 1985. 445p.

ROBERTSON, G.P. GS+: geostatistics for the environmental sciences – GS+ User’s guide. **Plainwell: Gamma Design Software**, 1998. 152 p.

SANTOS, W. O. **Ajuste da evapotranspiração de referência estimada através de 10 métodos em Mossoró-RN à diferentes distribuições densidade de probabilidade**.

2010. 222 f. Monografia (Graduação em Agronomia) - Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), Mossoró-RN.

SANTOS, W. O. **Necessidades hídricas, desenvolvimento e análise econômica da cultura do milho nas condições do semiárido brasileiro**. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal Rural do Semi-Árido - UFERSA, Mossoró - Rn, 2012. 105 f.

SALVIANO, A. A. C.; VIEIRA, S. R.; G. SPAROVEK. Variabilidade espacial de atributos de solo e de *Crotalaria juncea* L. em área severamente erodida. Seção VI - Manejo e Conservação do Solo e da Água. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 22, p.115-122, 1998.

SHAPIRO, S. S; WILK , M. B. An analysis of variance test for normality (complete samples). **Biometrika**, Oxford, v. 52, n. 2, 1965.

SILVA, F. A. S.; AZEVEDO, C. A. V. A new version of the assistat-statistical assistance software. In: WORLD CONGRESS ON COMPUTERS IN AGRICULTURE, 4. Orlando. **Anais...** Orlando: American Society of Agricultural Engineers, 2006. p.393-396.

SILVA, C. R. S. **Estudo das características físico-químicas do solo em plantio de erva-mate (*ilex paraguariensis* st. hil.) através da geoestatística e do geoprocessamento**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007, 113 p.

SILVA, D. M. E. **Influência dos sistemas de exploração agrícola convencional e orgânico em cana-de-açúcar**. 2007, Tese (Doutorado). Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2007, 72 f.

SILVA, J. S. **Evapotranspiração e produção de melancia sob diferentes Níveis de nitrogênio e da salinidade da água de irrigação**. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem: Área de concentração em Irrigação e Drenagem) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA. Mossoró, 2010, 97 f.

SOUZA, Z. M.; MARQUES JÚNIOR, J.; PERREIRA, G. T.; MONTANARI, R. Otimização amostral de atributos de Latossolos considerando aspectos solo-relevo. **Ciência Rural**, Santa Maria v.36 p.829-836, 2006.

VANNI, S.M. **Modelos de regressão: Estatística aplicada**. São Paulo, Legmar Informática, 1998. 177p.

VIEIRA, S. R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In: NOVAIS R. F.; ALVAREZ, V., V. H.; SCHAEFER, G. R. **Tópicos em ciência do solo**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, 2000. v.1, p.1-54.

VIEIRA, S. R.; BRANCALIÃO, S. R.; GREGO, C. R.; MARTINS, A. L. M. Variabilidade espacial de atributos físicos de um argissolo vermelho-amarelo cultivado com leguminosas consorciada com a seringueira. **Bragantia**, Campinas, vol. 69, n.º. 2, 2010.

WARRICK, A. W. Spatial variability. In: HILLEL, D. **Environmental soil physics**. San Diego: Academic Press, 1998. p.655-675.

## **CAPÍTULO 2 - ADUBO VERDE INDICANDO VARIABILIDADE ESPACIAL DE ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO E EFEITO RESIDUAL DE NÍVEIS DE SALINIDADE E DOSES NITROGÊNIO**

### **RESUMO**

O trabalho foi desenvolvido no contexto de solo degradado pelo uso e pela aplicação de água de qualidade inferior, situação para a qual a adubação verde pode ser uma alternativa de recuperação. Por isso, utilizou-se a *Crotalaria juncea* L. para avaliar o efeito residual de níveis de salinidade da água e de doses de nitrogênio mineral, além da variabilidade espacial dos atributos químicos do solo. O experimento foi realizado na Fazenda Experimental Rafael Fernandes, da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), Mossoró, RN, Brasil. Em anos anteriores, a área experimental recebeu seis experimentos consecutivos com diferentes culturas, em delineamento de blocos ao acaso, com parcelas subdivididas 5 x 3, correspondentes a níveis de salinidade e doses de nitrogênio, com quatro repetições. As variáveis estudadas foram atributos químicos do solo nas profundidades de 0,00-0,15 m e 0,15-0,30 m. Os resultados foram submetidos à análise de variância do efeito residual e, em seguida, ao estudo da variabilidade espacial das variáveis por meio de técnicas geoestatísticas. Foi constatado efeito residual para as doses de nitrogênio e níveis de salinidade da água nas duas profundidades. Após a incorporação do adubo verde, houve um acréscimo do Mg e do N total do solo na camada superficial, e os níveis de salinidade elevaram os teores de CE e Na em subsuperfície. As características químicas apresentaram dependência espacial nas duas profundidades. Na primeira camada apenas o K, Na e Mg atingiram alcances superiores ao tamanho das parcelas, e na segunda somente os alcances da CE e Ca foram inferiores, indicando tratar-se de diferentes fenômenos responsáveis pela variabilidade espacial.

**Palavras-chave:** Leguminosa. Dependência espacial. Geoestatística.

## CHAPTER 2 - GREEN MANURE FOR ASSESSMENT OF SPATIAL VARIABILITY OF SOIL CHEMICAL ATTRIBUTES AND RESIDUAL EFFECT OF SALINITY LEVELS AND NITROGEN DOSE

### ABSTRACT

This work was developed in the context of soil degradation by use and application of poor quality water, for which green manuring may be an alternative of remediation. That is why *Crotalaria juncea* L. was used for evaluating residual effect of water salinity levels and nitrogen doses, as well as spatial variability of soil chemical attributes. The trial was carried out at Rafael Fernandes Farm, of Federal Rural University of Semi-arid (UFERSA), Mossoró, RN, Brazil. In past years the experimental area received six consecutive trials with different crops, which experimental design was a randomized blocks with split plots 5 x 3 corresponding to salinity levels and nitrogen doses, and four replications. Variables studied were soil chemical attributes at 0,00-0,15 m and 0,15-0,30 m depths. Data was submitted to variance analysis of residual effect and to spatial variability analysis by means of geostatistical techniques. Residual effect was confirmed for nitrogen doses and salinity levels in the two depths. After soil incorporation of green manure an increase was observed in soil contents of Mg and N of surface layer, while salinity levels caused increase in soil electrical conductivity (EC) and Na content at subsurface. Soil chemical attributes showed spatial dependence at both depths. In the first layer only K, Na and Mg had ranges larger than plot dimensions, while in the second layer only EC and Ca had ranges smaller than plot dimensions, indicating that different phenomena were responsible for spatial variability.

**Keywords:** Legumes. Spatial dependence. Geostatistics.

## 1 INTRODUÇÃO

O avanço do processo degradativo dos solos brasileiros, principalmente nas fronteiras agrícolas, tem gerado preocupação com a prevenção da degradação de novas áreas e adoção de práticas como a adição de matéria orgânica ao solo, entre as quais a adubação verde é alternativa viável na busca pela sustentabilidade dos solos agrícolas.

A viabilidade da adubação verde em recuperar solos degradados está em incorporar ao solo o tecido vegetal não decomposto, de forma a manter ou aumentar a fertilidade do solo (Fageria; Santos 2007), podendo diminuir a erosão e recuperar características físicas, químicas e biológicas do solo (Nascimento et al., 2005). O ideal é que as plantas sejam incorporadas ao solo após o florescimento e antes da frutificação, adicionando grande quantidade de material vegetal.

Os efeitos da adubação verde sobre as propriedades químicas do solo variam em função de: espécie utilizada, manejo dado à biomassa, época de plantio e corte do adubo verde, tempo de permanência dos resíduos no solo, condições locais e da interação entre esses fatores (Alcântara et al., 2000). O manejo adequado de resíduos vegetais na agricultura aumenta a produtividade, reduz a utilização de insumos químicos e diminui a contaminação ambiental (Miyazawa; Pavan; Franchini, 2000).

Entre as espécies de adubos verdes, a crotalária juncea, originária da Índia e bem adaptada às regiões tropicais, é uma das espécies leguminosas de mais rápido crescimento inicial. Ela é planta anual, arbustiva, de crescimento ereto e determinado, podendo atingir de 3,0 a 3,5 m de altura e produzir até 15 a 20 t ha<sup>-1</sup> de matéria seca. Sua recomendação é para cultivo isolado, intercaladas a perenes, na reforma de canaviais ou em rotação com culturas graníferas (Mateus; Wutke, 2006).

A principal vantagem de se utilizar leguminosas refere-se à capacidade de fixar nitrogênio atmosférico, por meio de simbiose com bactérias do gênero *Rhizobium/Bradyrhizobium* nas raízes, enriquecendo-se o solo com esse macronutriente, possibilitando reduzir a quantidade de nitrogênio aplicado na adubação química (Mateus; Wutke, 2006). Entretanto, em condições semiáridas geralmente é necessário irrigação para o cultivo de adubos verdes, os quais quando irrigados com água salina ou cultivados em solos salinizados, podem ter seu crescimento prejudicado, bem como a sua utilidade em recuperar a qualidade do solo nessas áreas.

A utilização da água de qualidade inferior na agricultura é um dos fatores que prejudicam o desenvolvimento das culturas e afetam a produção, pois a água pode



constituir mais de 90% dos tecidos vegetais de algumas plantas. Desta forma, a adoção de alternativas economicamente viáveis de manejo da água é essencial para que se obtenha a produtividade esperada das culturas (Medeiros et al., 2007).

Além do aspecto quantitativo, a escassez de recursos hídricos nas regiões áridas e semiáridas também envolve o aspecto qualitativos, principalmente no que diz respeito à presença de sais na água, causando restrições de uso para consumo humano, animal e irrigação (Medeiros et al., 2003). Sua utilização acarreta problemas relacionados à degradação e a alteração de características do solo para a produção agrícola, com redução da matéria orgânica e dos nutrientes, inclusive o nitrogênio.

Em geral, a estatística clássica é empregada em estudos envolvendo aspectos de solo e plantas cultivadas, havendo a pressuposição de que as variáveis aleatórias são independentes entre si, ou seja, não há relação entre a variação e a distância entre os pontos de amostragem. A variável aleatória é aquela que pode tomar valores diferentes em diferentes lugares de observação, indicando uma determinada independência entre um ponto e outro (Guerra, 1988).

Entretanto, Reichardt (1985) afirma que em diversos estudos envolvendo interações solo-água-plantas, o emprego de técnicas de estatística clássica, como a análise, torna-se inadequado em algumas situações. Uma alternativa é o emprego de ferramentas de geoestatística, que considera a existência de dependência da variação com relação ao espaço de amostragem, indica a existência de correlações espaciais entre propriedades e pode descrever melhor essas interações. O autor observa não haver exclusão e sim complementação entre a estatística clássica e a geoestatística, pois muitas vezes perguntas não respondidas por uma, podem ser respondidas pela outra.

Nesse contexto, o presente trabalho teve como objetivo utilizar o adubo verde crotalária juncea para avaliar atributos químicos do solo quanto ao efeito residual de níveis de salinidade e doses de nitrogênio mineral e quanto à variabilidade espacial.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Localização do experimento

O experimento foi conduzido na Fazenda Experimental Rafael Fernandes, localizada na comunidade de Alagoinha (5°03'37"S; 37°23'50"W e altitude de 72 m), pertencente à Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), distante 20 km da cidade de Mossoró/RN. O solo da área experimental é classificado como LATOSSOLO VERMELHO AMARELO Argissólico franco arenoso (EMBRAPA, 2006).

De acordo com a classificação climática de Köppen, o clima de Mossoró é do tipo BSw<sup>h</sup>, isto é, seco, muito quente e com estação chuvosa no verão atrasando-se para o outono, apresentando temperatura média anual de 27,4 °C, precipitação pluviométrica anual muito irregular, com média de 673,9 mm e umidade relativa do ar de 68,9% (CARMO FILHO; OLIVEIRA, 1995). Segundo a classificação climática de Thornthwaite, Mossoró apresenta um clima do tipo DdA'a', ou seja, semiárido, megatérmico com pouco ou nenhum excesso de água durante o ano (SANTOS, 2010).

### 2.2 Histórico da área

A área experimental recebeu seis experimentos consecutivos, onde foram aplicados via fertirrigação níveis de salinidade da água e doses de nitrogênio que diferiram a cada experimento (Tabela 1).

Tabela 1: Histórico das culturas, doses de nitrogênio e níveis de salinidade utilizados na área experimental antes do plantio de *Crotalaria juncea* L. em Mossoró–RN, 2014

Cultura	Doses de Nitrogênio (kg ha <sup>-1</sup> )			Níveis de Salinidade (dS m <sup>-1</sup> )					
	N1	N2	N3	S1	S2	S3	S4	S5	
Melancia	-	-	-	0,55	1,65	2,35	3,45	4,5	(Figueirêdo et al., 2009)
Melão	68	90	135	0,57	1,65	2,65	3,5	4,5	(Figueirêdo, 2008)
Melancia	55	106	156	0,66	1,69	2,36	3,46	3,98	(Carmo, 2009)
Abóbora	26	51	76	0,66	2,21	3,29	4,11	4,39	(Carmo, 2009)
Melão	42,5	85	127,5	0,65	1,65	2,83	3,06	4,73	(Melo et al., 2011)
Melancia	48	96	144	0,57	1,36	2,77	3,86	4,91	(Silva, 2010)
Milho	-	-	-	0,57	-	-	-	-	(Almeida, 2012)
Milho	-	-	-	0,57	-	-	-	-	(Santos, 2012)

Fonte: dados obtidos dos experimentos anteriormente instalados na área experimental.

Os experimentos foram realizados, respectivamente, nos períodos de fevereiro a abril de 2006, novembro de 2006 a fevereiro de 2007, novembro de 2007 a janeiro de 2008, fevereiro a abril de 2008, outubro de 2008 e fevereiro de 2009. Nos períodos de maio a agosto de 2010 e em novembro de 2011, foram conduzidos dois experimentos na área como forma de avaliar o efeito residual dos experimentos descritos acima, utilizando o milho híbrido AG 1051. Para tanto, a água utilizada para irrigação era de boa qualidade, proveniente de poço perfurado no aquífero Arenito Açú, cuja condutividade elétrica (CE) ( $0,57 \text{ dS m}^{-1}$ ) corresponde à água S1 aplicada nos experimentos anteriores, e as fontes de nitrogênio utilizadas foram o nitrato de cálcio e uréia.

### 2.3 Caracterização da área e delineamento experimental

Antes da instalação do experimento foram coletadas amostras de solos nas camadas de 0,0-0,15 m e 0,15-0,30 m de profundidade para caracterização química e física do solo da área experimental (Tabela 2).

Tabela 2. Caracterizações físico-químicas do solo da área experimental antes do plantio de *Crotalaria juncea* L. em Mossoró– RN. UFERSA, 2014

Profundidade	N ( $\text{g kg}^{-1}$ )	Ph	CE ( $\mu\text{S cm}^{-1}$ )	MO ( $\text{g kg}^{-1}$ )	P ( $\text{mg dm}^{-3}$ )	K -----( $\text{cmolc dm}^{-3}$ )-----	Na	Ca	Mg
0,0-0,15 m	0,49	7,0	26,80	1,10	77,00	0,04	0,06	1,50	0,95
0,0-0,30 m	0,28	7,2	31,60	3,09	71,30	0,07	0,08	1,29	0,87
	Areia Grossa		Areia fina		Areia ( $\text{g kg}^{-1}$ )	Silte		Argila	
0,0-0,15 m	600		240		840	40		120	
0,0-0,30 m	610		250		860	30		110	

Fonte: Dados obtidos na pesquisa.

O experimento foi conduzido no mesmo delineamento utilizado nos anos anteriores, em blocos ao acaso com parcelas subdivididas 5 x 3 e quatro repetições. As parcelas corresponderam à aplicação dos níveis de salinidade e as subparcelas corresponderam às três doses de nitrogênio. As parcelas foram constituídas de três subparcelas com três fileiras duplas de plantas, nas quais as duas fileiras laterais eram bordaduras e a fileira central a parcela útil para avaliações (Figura 1). As parcelas e subparcelas tinham 22,5 e 7,5 m de comprimento, respectivamente, correspondendo à  $135\text{m}^2$  e  $45\text{m}^2$ , respectivamente. A área útil para as avaliações das plantas foi de  $15\text{m}^2$ .

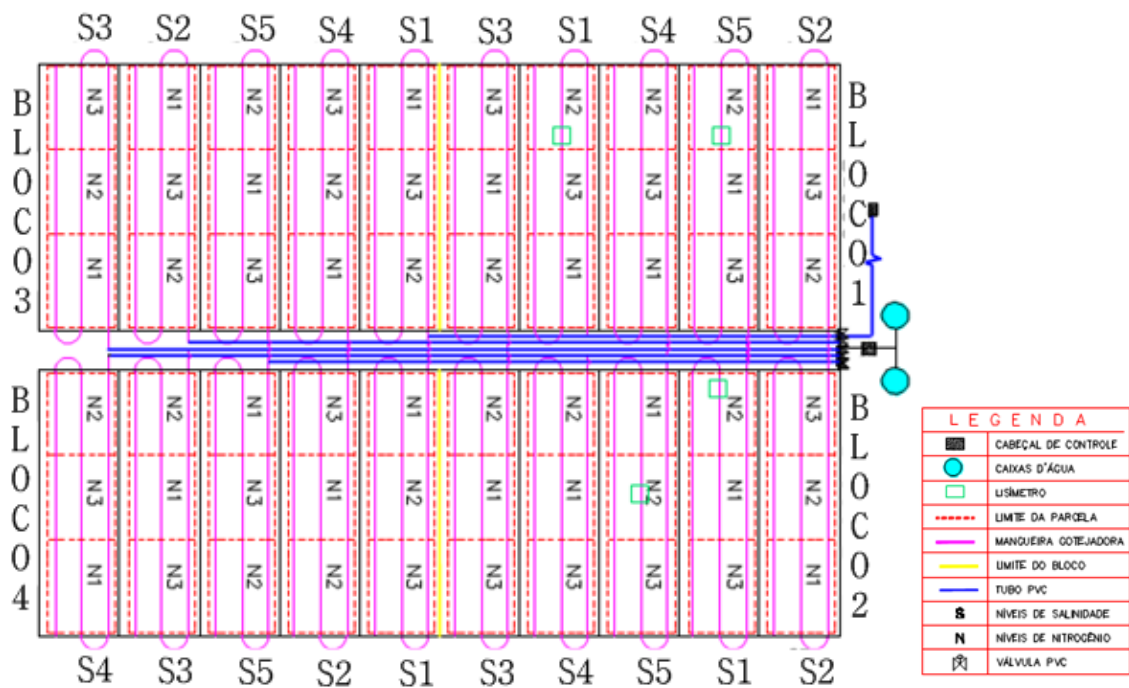


Figura 1. Croqui da área experimental, localizada na Fazenda experimental Rafael Fernandes, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró-RN, 2014

A área cultivada com crotalária juncea (*Crotalaria juncea* L.) foi de 2700 m<sup>2</sup> (45 m x 60 m). O plantio foi realizado em fileiras duplas (0,05 x 0,2 x 2,0 m), com 0,05 m entre plantas, 0,2 m entre fileiras simples e 2,0 m entre fileiras duplas. O preparo do solo foi realizado por meio de arado fixo e grade niveladora. A semeadura foi realizada nos dias 20, 21 e 22 de junho de 2012, utilizando-se três sementes por cova. O desbaste foi realizado entre sete e oito dias após a emergência das plântulas, mantendo-se uma planta por cova e população aproximada de 200.000 plantas ha<sup>-1</sup>.

Os tratos culturais constituíram de controle de plantas daninhas com enxada, entre 20 e 60 dias após emergência (DAE); controle de formigas com isca granulada (Sulfluramida - 0,3 %) e formicida em pó (Malathion - 4%); irrigação diária com água apresentando condutividade elétrica em torno de 0,57 dS m<sup>-1</sup> de modo a manter a umidade do solo próxima a capacidade de campo. O sistema de irrigação localizado por gotejamento foi constituído de 30 linhas laterais com comprimento de 45 m, uma para cada fileira dupla de plantio. Os emissores espaçados de 0,3 m operavam a 100 kPa de pressão, com vazão de 1,5 L h<sup>-1</sup>.

A incorporação foi realizada quando a cultura atingiu o seu florescimento pleno (Figura 2), por meio de enxada rotativa tratorizada. Após vinte dias da incorporação da crotalária, a área voltou a ser irrigada com diferentes níveis de salinidade da água (S1= 0,50; S2= 1,50; S3= 2,50; S4= 3,50 e S5= 4,50 dS m<sup>-1</sup>).



Figura 2. Fase de pleno florescimento da *Crotalaria juncea* L. na Fazenda experimental Rafael Fernandes, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró-RN, 2014.

#### **2.4 Avaliação das características do solo**

As amostragens do solo da área experimental foram três, realizadas com auxílio de um trado holandês, quando foram obtidas em cada subparcela duas amostras compostas deformadas, cada uma delas composta pela mistura de quatro amostras simples coletadas nas profundidades de 0,0–0,15 m e 0,15–0,30 m. As amostras foram colocadas em baldes separados, para homogeneização e, em seguida, colocados em sacos plásticos identificados para controle das profundidades e parcelas estudadas.

A primeira coleta foi realizada antes do plantio para avaliação do efeito residual dos experimentos anteriores; a segunda foi feita trinta dias após a primeira, enquanto que a terceira foi realizada sessenta dias após a incorporação da cultura ao solo, quando a irrigação já era realizada com diferentes níveis de salinidade da água, que se iniciou trinta dias após a incorporação.

As amostras coletadas foram submetidas a análises física (granulometria) e química (pH, CE, N, P, K, Ca, Mg, Na e Matéria orgânica do solo), de acordo com a metodologia da EMBRAPA (1997).

## 2.5 Análises estatísticas

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância do efeito residual dos experimentos anteriores e, em seguida, os dados foram submetidos à análise estatística descritiva, determinando-se valores mínimos e máximos, média, mediana, desvio-padrão, coeficiente de variação, assimetria e curtose, utilizando o software ASSISTAT (Silva; Azevedo, 2006). Além disso, realizou-se o estudo da variabilidade espacial das variáveis estudadas na área, por meio de técnicas de geoestatísticas.

A hipótese da normalidade dos dados foi testada pelo teste W (Shapiro; Wilk, 1965) além de avaliarem-se as hipóteses de homogeneidade da média e independência da variância. Conforme Libardi et al. (1996), foram eliminados, como prováveis dados discrepantes, valores menores que a diferença entre o quartil inferior e 1,5 vez a amplitude interquartílica, ou maior que a soma do quartil superior com 1,5 vez a amplitude interquartílica. A seguir, os dados não ajustados à distribuição normal foram submetidos às transformações para Logaritmo ou Box-Cox.

O estudo da variabilidade espacial das variáveis estudadas, por meio da geoestatística, utilizou os dados de cada subparcela como sendo uma amostra, totalizando 60 amostras georeferenciadas segundo coordenadas cartesianas correspondentes ao centro de cada subparcela. Dessa maneira, a grade de amostragem apresentava espaçamento de 6 m na direção Y e 7,5 m na direção X.

A dependência espacial das variáveis foi avaliada com base nas pressuposições de estacionariedade da hipótese intrínseca (Vieira, 2000), pela análise de semivariogramas ajustados por meio de versão demonstrativa do software GS+ 9 (Gamma Design Software). O semivariograma foi estimado por:

$$\hat{\gamma}(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i + h) - Z(x_i)]^2 \quad (1)$$

em que,  $\gamma^*(h)$  é a estimativa da semivariância experimental, obtida pelos valores amostrados  $[Z(x_i), Z(x_i + h)]$ ,  $h$  é a distância entre pontos amostrais e  $N(h)$  é o número total de pares de pontos possíveis, dentro da área de amostragem, com a distância  $h$ .

O nível de variabilidade foi classificado conforme o coeficiente de variação (CV), segundo Warrick (1998), em baixa para CV menor que 15%, média para CV entre 15 e 50% e alta para CV acima de 50%. Os modelos de ajuste considerados para os semivariogramas foram estabelecidos considerando o melhor coeficiente de

determinação ( $R^2$ ) e soma dos quadrados do resíduo (SQR). Segundo Robertson (1998) a SQR é um parâmetro mais robusto do que o  $R^2$  e propicia uma medida exata, segundo a qual o modelo se ajusta melhor aos dados.

A estrutura da variação e a dependência espacial foram analisadas por meio dos semivariogramas experimentais. Neles, o patamar ( $C+Co$ ) é o valor da semivariância a partir do qual toda amostra é de influência aleatória; o alcance ( $Ao$ ) é a distância na qual  $\gamma(h)$  atinge o patamar e a partir dela não existe dependência espacial; o efeito pepita ( $Co$ ) refere-se ao valor da semivariância na interceptação do eixo Y e representa a variação aleatória ou erro devido ao espaçamento de amostragem (Vieira, 2000). A classificação do grau de dependência espacial (GDE) das variáveis pode ser feita com base na razão entre o efeito pepita e o patamar [ $Co/(C0 + C1)$ ], sendo considerada forte se a razão for  $\leq 0,25$ , moderada quando esta entre 0,26 e 0,74 e fraca se  $\geq 0,75$  (Cambardella et al., 1994).

A estimativa espacial foi realizada por interpolação dos valores não amostrados, pelo método da krigagem, de modo a definir o padrão espacial das variáveis estudadas, o que permitiu a elaboração dos mapas de distribuição espacial.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados da análise de variância apresentados na Tabela 3, relativos à primeira análise química do solo, realizada antes do plantio da crotalária juncea indicam efeito residual significativo (teste F;  $p < 0,05$ ) devido às doses de nitrogênio na profundidade de 0,00-0,15 m, apenas para o Mg. Não foi observado efeito residual significativo dos níveis de salinidade, nem da interação entre salinidade e nitrogênio, que pode ser justificado pelo fato da cultura ser moderadamente resistente à salinidade.

Tabela 3. Análise de variância de atributos químicos do solo em duas profundidades estudadas antes do plantio da *Crotalária juncea* L

Fonte de Variação	GL	Quadrados Médios								
		N	pH	CE	MO	P	K	Na	Ca	Mg
0,00-0,15 m										
Bloco	3	0,004 <sup>ns</sup>	0,02 <sup>ns</sup>	191,39 <sup>ns</sup>	0,75 <sup>ns</sup>	855,10 <sup>ns</sup>	0,0003 <sup>ns</sup>	0,0024 <sup>ns</sup>	0,44 <sup>ns</sup>	0,25 <sup>ns</sup>
Salinidade	4	0,005 <sup>ns</sup>	0,07 <sup>ns</sup>	81,79 <sup>ns</sup>	1,29 <sup>ns</sup>	1292,80 <sup>ns</sup>	0,0007 <sup>ns</sup>	0,0023 <sup>ns</sup>	0,23 <sup>ns</sup>	0,41 <sup>ns</sup>
Erro a	12	0,010	0,06	483,71	1,60	409,82	0,0011	0,0011	0,67	0,45
Nitrogênio	2	0,019 <sup>ns</sup>	0,10 <sup>ns</sup>	336,65 <sup>ns</sup>	4,00 <sup>ns</sup>	1366,10 <sup>ns</sup>	0,0002 <sup>ns</sup>	0,0008 <sup>ns</sup>	0,03 <sup>ns</sup>	0,67*
Sal x Nit	8	0,007 <sup>ns</sup>	0,04 <sup>ns</sup>	381,63 <sup>ns</sup>	1,35 <sup>ns</sup>	1014,63 <sup>ns</sup>	0,0005 <sup>ns</sup>	0,0012 <sup>ns</sup>	0,16 <sup>ns</sup>	0,15 <sup>ns</sup>
Erro b	30	0,012	0,07 <sup>ns</sup>	250,77	1,57	978,80	0,0005	0,0016	0,39	0,18
MG		0,47	8,40	92,75	2,28	43,11	0,094	0,125	2,68	0,81
0,15-0,30 m										
Bloco	3	0,007 <sup>ns</sup>	0,05 <sup>ns</sup>	662,64 <sup>ns</sup>	1,28 <sup>ns</sup>	213,68 <sup>ns</sup>	0,0001 <sup>ns</sup>	0,0001 <sup>ns</sup>	0,07 <sup>ns</sup>	0,03 <sup>ns</sup>
Salinidade	4	0,001 <sup>ns</sup>	0,02 <sup>ns</sup>	331,71 <sup>ns</sup>	1,01 <sup>ns</sup>	2479,64 <sup>ns</sup>	0,0010 <sup>ns</sup>	0,0022 <sup>ns</sup>	0,15 <sup>ns</sup>	0,04 <sup>ns</sup>
Erro a	12	0,007	0,13	569,91	1,96	819,35	0,0004	0,0019	0,17	0,08
Nitrogênio	2	0,048*	0,30*	3,32*	3,91 <sup>ns</sup>	895,82 <sup>ns</sup>	0,0009 <sup>ns</sup>	0,0018 <sup>ns</sup>	0,05 <sup>ns</sup>	0,01 <sup>ns</sup>
Sal x Nit	8	0,004 <sup>ns</sup>	0,03 <sup>ns</sup>	227,23 <sup>ns</sup>	2,34 <sup>ns</sup>	1375,26 <sup>ns</sup>	0,0006 <sup>ns</sup>	0,0017 <sup>ns</sup>	0,23 <sup>ns</sup>	0,06 <sup>ns</sup>
Erro b	30	0,014	0,08	150,81	1,66	615,58	0,0005	0,0012 <sup>ns</sup>	0,27	0,18
MG		0,48	8,30	88,83	2,64	41,53	0,091	0,115	2,14	0,67

1GL = graus de liberdade; MG = Média geral; <sup>ns</sup> não significativo; \* significativo a 5% de probabilidade pelo teste F

Observa-se na profundidade de 0,15-0,30 m efeito residual significativo apenas das doses de nitrogênio ( $p < 0,05$ ) sobre o teor de nitrogênio, pH e condutividade elétrica do solo, mas não da interação entre eles (Tabela 3).

Os teores médios de Mg na camada de 0,00-0,15 m e do N, pH e CE entre 0,15 e 0,30m (Tabela 4) não apresentam efeito significativo dos níveis de salinidade residual. Entretanto, o efeito significativo das doses residuais de nitrogênio se manifestou no menor teor de Mg referente à maior dose, enquanto que a dose N2 apresentou o maior



teor. O efeito residual da salinidade e do nitrogênio no solo também reflete efeitos da cultura antecessora à *Crotalaria juncea*, o milho, que é bastante exigente em N e remove grande quantidade desse nutriente do solo. Franchini et al. (2000) comprovaram redução nos teores de Mg na camada de 0–0,10 m do solo quando cultivaram espécies exigentes em Nitrogênio. Enquanto que Lange et al. (2006), após aplicação de palha e doses de N em solo cultivado com milho, verificaram que a variação na dose de N influenciou significativamente os teores de Mg até 0,20 m de profundidade. As doses mais altas de N aplicadas redundaram nos menores valores de Ca e Mg trocáveis e fizeram com que os cátions básicos tenham se tornado mais facilmente lixiviados.

Tabela 4. Comparação de médias de atributos químicos das duas profundidades estudadas antes do plantio da *Crotalaria juncea* L

Fator Residual	Mg	N	pH	CE
	(cmolc dm <sup>-3</sup> )	(g kg <sup>-1</sup> )	(água)	(μS cm <sup>-1</sup> )
	0,00-0,15m		0,15-0,30m	
N1	0,85 AB	0,44 B	8,18 B	35,46 A
N2	0,97 A	0,46 B	8,30 AB	35,42 A
N3	0,61 B	0,53 A	8,42 A	35,72 A
S1	0,73 A	0,48 A	8,30 A	37,97 A
S2	0,89 A	0,48 A	8,26 A	36,93 A
S3	0,53 A	0,47 A	8,27 A	36,00 A
S4	1,02 A	0,47 A	8,30 A	33,80 A
S5	0,89 A	0,48 A	8,37 A	32,97 A

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si

Na camada de 0,15-0,30 m, o teor de N e o pH do solo apresentaram aumento contínuo com as doses residuais de nitrogênio, com os menores teores para N1 e os maiores para N3. Como esperado, o teor de Nitrogênio do solo aumentou continuamente conforme dosagem de nitrogênio aplicada. O fato de não haver diferença entre doses na primeira profundidade avaliada pode ser devido a que o N pode ter sido lixiviado da camada superficial e se concentrado em subsuperfície, ou absorvido pela planta. Nesse sentido, Prasertsak et al. (2001) afirmam que menos de 5 % do N aplicado é lixiviado para camadas de solo inferiores a 30 cm de profundidade. Enquanto isso, Silva & Silva (2002) associam à grande remoção de nitrogênio pelo milho, o fato do N da camada superficial não ter respondido a diferentes adubações. Além disso, Costa et al. (2008) avaliando fontes e doses de nitrogênio em pastagem, evidenciaram aumento linear do N total com acréscimo nas doses de N na camada de 0–20 cm e quadrático

entre 20 e 40 cm.

O pH do solo a 0,30 m de profundidade também apresentou aumento conforme as doses de nitrogênio aplicadas (Tabela 4). Lange et al. (2006) explicam que a aplicação de uréia, por ser uma molécula de reação básica, inicialmente provoca aumento do pH, principalmente ao redor dos grânulos do adubo. Mattos Junior et al. (2002) acrescentam que a uréia é hidrolisada pela ação da urease, e a hidrólise desse adubo consome íons hidrogênio ( $H^+$ ) que provoca um aumento localizado do pH do solo. Enquanto que Ruaro et al. (2009) ressalta que o nitrato de cálcio é um fertilizante que contém N na forma nítrica ( $NO_3$ ) e sua aplicação não leva à redução do pH do solo. Nesse sentido, os maiores valores de pH em semeadura direta na camada superficial do solo, decrescendo com a profundidade amostrada, foram atribuídos por Falleiro et al. (2003) às características tamponantes da matéria orgânica e/ou ao aumento da força iônica da solução do solo, devido ao incremento dos teores de Ca, Mg e K nesta camada de solo.

O efeito residual das doses de nitrogênio foi semelhante para a CE do solo (Tabela 4). No entanto, o teste de médias não foi capaz de identificar diferença entre elas, porém, apresentou maior valor para a maior dose aplicada, demonstrando que a adubação interfere na diluição dos sais na solução do solo e que a condutividade elétrica da solução do solo aumenta com o aumento da dose de nitrogênio.

Os resultados da análise da variância dos atributos químicos do solo nas duas camadas, 30 dias após o plantio da crotalaria juncea (Tabela 5) indicam que na camada de 0,00 a 0,15 m ocorreu efeito residual significativo (teste F;  $p < 0,05$ ) apenas dos níveis de salinidade sobre o teor de Ca no solo. Na profundidade de 0,15 a 0,30 m, o único efeito residual significativo observado foi das doses de nitrogênio sobre o teor de K no solo (teste F;  $p < 0,05$ ). Não foram observados efeitos da interação entre os fatores estudados. Nessa época, os benefícios advindos da ciclagem de nutrientes e da fixação biológica de nitrogênio pelos rizóbios nas raízes, podem ter promovido a estabilização de algumas variáveis químicas do solo, encobrendo possíveis efeitos residuais.

Tabela 5. Análise de variância de atributos químicos do solo em duas profundidades estudadas 30 dias após o plantio da *Crotalaria juncea* L.

Fonte de Variação	GL	Quadrados Médios								
		N	pH	CE	MO	P	K	Na	Ca	Mg
0,00-0,15m										
Bloco	3	0,012 <sup>ns</sup>	0,18 <sup>ns</sup>	1987,26 <sup>ns</sup>	1,64 <sup>ns</sup>	32912,7 <sup>ns</sup>	0,0014 <sup>ns</sup>	0,0025 <sup>ns</sup>	0,02 <sup>ns</sup>	0,42 <sup>ns</sup>
Salinidade	4	0,008 <sup>ns</sup>	0,02 <sup>ns</sup>	961,68 <sup>ns</sup>	1,00 <sup>ns</sup>	10735,9 <sup>ns</sup>	0,0014 <sup>ns</sup>	0,0024 <sup>ns</sup>	0,57*	0,78 <sup>ns</sup>
Erro a	12	0,011	0,04	844,59	0,84	11403,51	0,0005	0,0012	0,17	0,33
Nitrogênio	2	0,012 <sup>ns</sup>	0,04 <sup>ns</sup>	2450,40 <sup>ns</sup>	1,56 <sup>ns</sup>	21855,8 <sup>ns</sup>	0,0002 <sup>ns</sup>	0,0008 <sup>ns</sup>	0,02 <sup>ns</sup>	0,10 <sup>ns</sup>
Sal x Nit	8	0,038 <sup>ns</sup>	0,03 <sup>ns</sup>	1125,73 <sup>ns</sup>	0,52 <sup>ns</sup>	16015,3 <sup>ns</sup>	0,0006 <sup>ns</sup>	0,0012 <sup>ns</sup>	0,58 <sup>ns</sup>	0,33 <sup>ns</sup>
Erro b	30	0,024	0,03	1083,58	0,89	15328,6	0,0004 <sup>ns</sup>	0,0016	0,36	0,30
MG		0,42	8,09	159,35	5,30	103,08	0,076	0,130	1,95	1,44
0,15-0,30m										
Bloco	3	0,030 <sup>ns</sup>	0,00 <sup>ns</sup>	1443,08 <sup>ns</sup>	2,46 <sup>ns</sup>	15374,4 <sup>ns</sup>	0,0001 <sup>ns</sup>	0,0002 <sup>ns</sup>	0,45 <sup>ns</sup>	0,29 <sup>ns</sup>
Salinidade	4	0,020 <sup>ns</sup>	0,02 <sup>ns</sup>	1453,25 <sup>ns</sup>	1,41 <sup>ns</sup>	2131,1 <sup>ns</sup>	0,0005 <sup>ns</sup>	0,0023 <sup>ns</sup>	0,52 <sup>ns</sup>	0,35 <sup>ns</sup>
Erro a	12	0,021	0,05	1694,92	1,05	15186,60	0,0006	0,0020	0,56	0,45
Nitrogênio	2	0,008 <sup>ns</sup>	0,07 <sup>ns</sup>	118,52 <sup>ns</sup>	2,79 <sup>ns</sup>	19300,2 <sup>ns</sup>	0,0015*	0,0019 <sup>ns</sup>	0,48 <sup>ns</sup>	0,17 <sup>ns</sup>
Sal x Nit	8	0,019 <sup>ns</sup>	0,05 <sup>ns</sup>	910,23 <sup>ns</sup>	0,79 <sup>ns</sup>	19127,7 <sup>ns</sup>	0,0009 <sup>ns</sup>	0,0017 <sup>ns</sup>	0,72 <sup>ns</sup>	0,23 <sup>ns</sup>
Erro b	30	0,032	0,03	680,88	2,03	9505,85	0,0004	0,0013	0,71	0,26
MG		0,39	8,09	115,42	3,51	81,48	0,082	0,119	3,02	0,97

1GL = graus de liberdade; MG = Média geral; <sup>ns</sup> não significativo; \* significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

Os resultados apresentados na Tabela 6 indicam não haver influência das doses de nitrogênio sobre os teores de Ca na camada de 0,00-0,15 m de solo. Entretanto, o teor de Cálcio no solo aumentou com o incremento dos níveis de salinidade residuais no solo, com a menor média obtida como o nível S1 e a maior com o nível S4, sem diferença entre as demais. A presença da leguminosa na área proporciona alterações e ciclagem dos nutrientes no solo, especialmente do nitrogênio, o que pode exercer estabilidade sobre o cálcio trocável, comprovada pela baixa eficiência dessas culturas em reciclar este nutriente no solo. Nesse sentido, Garcia et al. (2008) observaram que o acréscimo da salinidade da água de irrigação causou aumento linear no teor de Cálcio trocável de Neossolo e Latossolo, sendo que esse aumento atribuído à presença de íons de Ca<sup>2+</sup> na composição das águas. Resultados semelhantes foram obtidos por Almeida & Gisbert (2002), que avaliaram o efeito da utilização de água de drenagem em diferentes frações de lixiviação em um solo de textura argilosa e por Macedo & Santos (1992), que estudaram o efeito da aplicação de água salina em solos da região de Sumé, PB.

Tabela 6. Comparação de médias de atributos químicos em duas profundidades estudadas 30 dias após o plantio da *Crotalaria juncea* L.

Fator Residual	Ca	K
	(cmolc dm <sup>-3</sup> )	(cmolc dm <sup>-3</sup> )
	0,00-0,15m	0,15-0,30m
N1	1,94 A	0,074 B
N2	1,99 A	0,081 AB
N3	1,94 A	0,091 A
S1	1,70 B	0,091 A
S2	1,92 AB	0,077 A
S3	1,85 AB	0,084 A
S4	2,28 A	0,084 A
S5	2,04 AB	0,073 A

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si.

Na profundidade de 0,15-0,30 m, os teores de K apresentaram efeito significativo das doses de nitrogênio residuais, tendo aumentado com o aumento da dose de N. Nascimento et al. (2003) também obtiveram efeitos positivos das leguminosas sobre o teor do potássio na camada de 0-10 cm, considerando-os como de fundamental importância na sua reciclagem. Os teores de K não diferiram entre si sob efeito dos níveis de salinidade, resultados corroborados por Garcia et al. (2008).

O uso de leguminosas capazes de produzir altas quantidades de resíduos permite reduzir a lixiviação de cátions e aumentar a CTC do solo, o que acarreta aumentos proporcionais nos teores de Ca, Mg e K e, conseqüentemente, na soma de bases do solo (Alcântara et al., 2000). Segundo Rossi & Castro (2012), apesar da crotalaria mobilizar grande quantidade de nutrientes, sua resposta à adubação mineral é discreta, sendo necessária apenas em condições de baixa fertilidade, e sendo adaptadas aos diferentes níveis de fertilidade do solo, o que contribui na estratégia de sua utilização.

A análise de variância das características químicas do solo, avaliadas após incorporação da crotalaria juncea e sob aplicação de água salina ao solo (Tabela 7) indica que na camada de 0,00-0,15 m não ocorreram efeitos residuais da interação entre os fatores estudados. Entretanto, os níveis de salinidade exerceram efeito residual significativo sobre teores de Matéria Orgânica do Solo (MOS), sódio (Na) e Magnésio (Mg) (teste F,  $p < 0,05$ ) e para a condutividade elétrica do solo (CE) (teste F;  $p < 0,01$ ). Enquanto isso, o efeito residual das doses de nitrogênio foi significativo apenas para Nitrogênio Total (N) e Magnésio (Mg). Na camada de 0,15-0,30 m observou-se efeito significativo dos níveis de salinidade sobre a CE e teor de Na do solo (teste F;  $p < 0,01$ ).

Tabela 7. Análise de variância de atributos químicos do solo em duas profundidades estudadas 60 dias após a incorporação da *Crotalaria juncea* L.

Fonte de Variação	GL	Quadrados Médios								
		N	pH	CE	MO	P	K	Na	Ca	Mg
0,00-0,15m										
Bloco	3	0,057 <sup>ns</sup>	0,03 <sup>ns</sup>	51262,51*	0,93 <sup>ns</sup>	7601,8 <sup>ns</sup>	0,0026 <sup>ns</sup>	0,130 <sup>ns</sup>	0,06 <sup>ns</sup>	0,01 <sup>ns</sup>
Salinidade	4	0,047 <sup>ns</sup>	0,10 <sup>ns</sup>	205786,48**	12,99*	10074,9 <sup>ns</sup>	0,0054 <sup>ns</sup>	1,640**	0,26 <sup>ns</sup>	0,22*
Erro a	12	0,027	0,05	14013,79	3,01	22257,20	0,0021	0,132	0,40	0,06
Nitrogênio	2	0,062*	0,03 <sup>ns</sup>	44998,97 <sup>ns</sup>	1,34 <sup>ns</sup>	21665,7 <sup>ns</sup>	0,0001 <sup>ns</sup>	0,074 <sup>ns</sup>	0,05 <sup>ns</sup>	0,00*
Sal x Nit	8	0,015 <sup>ns</sup>	0,06 <sup>ns</sup>	26144,46 <sup>ns</sup>	4,01 <sup>ns</sup>	6818,6 <sup>ns</sup>	0,0009 <sup>ns</sup>	0,050 <sup>ns</sup>	0,14 <sup>ns</sup>	0,18 <sup>ns</sup>
Erro b	30	0,016	0,05	16842,98	3,62	10430,83	0,0015	0,074	0,15	0,12
MG		0,64	7,65	419,82	7,65	81,29	0,127	0,778	2,06	0,69
0,15-0,30m										
Bloco	3	0,083 <sup>ns</sup>	0,05 <sup>ns</sup>	14673,41 <sup>ns</sup>	9,50 <sup>ns</sup>	3316,6 <sup>ns</sup>	0,0019 <sup>ns</sup>	0,050 <sup>ns</sup>	0,12 <sup>ns</sup>	0,20 <sup>ns</sup>
Salinidade	4	0,007 <sup>ns</sup>	0,09 <sup>ns</sup>	125494,6**	2,98 <sup>ns</sup>	5673,9 <sup>ns</sup>	0,0018 <sup>ns</sup>	0,591**	0,64 <sup>ns</sup>	0,08 <sup>ns</sup>
Erro a	12	0,038	0,08	11295,91	4,19	1771,73	0,0015	0,058	0,29	0,10
Nitrogênio	2	0,004 <sup>ns</sup>	0,04 <sup>ns</sup>	22988,36 <sup>ns</sup>	6,67 <sup>ns</sup>	842,56 <sup>ns</sup>	0,0007 <sup>ns</sup>	0,028 <sup>ns</sup>	0,16 <sup>ns</sup>	0,01 <sup>ns</sup>
Sal x Nit	8	0,029 <sup>ns</sup>	0,04 <sup>ns</sup>	22659,85 <sup>ns</sup>	0,25 <sup>ns</sup>	4530,6 <sup>ns</sup>	0,0002 <sup>ns</sup>	0,033 <sup>ns</sup>	0,10 <sup>ns</sup>	0,11 <sup>ns</sup>
Erro b	30	0,045	0,05	11143,31	3,20	4707,42	0,0008	0,042	0,19	0,13
MG		0,55	7,43	282,74	6,44	43,90	0,102	0,524	1,73	0,57

1GL = graus de liberdade; MG = Média geral; <sup>ns</sup> não significativo; \* significativo a 5% de probabilidade pelo teste F; \*\* significativo a 1% de probabilidade pelo teste F.

Apesar do efeito significativo das doses de nitrogênio sobre os teores de N e Mg na profundidade de 0,00-0,15 m, o teste de médias não foi capaz de detectar diferença entre elas. Entretanto, observa-se que no decorrer das avaliações de solo, o teor de nitrogênio do solo elevou-se até atingir médias gerais de 0,64 e 0,55 g kg<sup>-1</sup> após a incorporação da leguminosa (Tabela 7). Silva & Menezes (2007) observaram que a adubação verde com crotalaria elevou a quantidade de N mineral do solo no período inicial de cultivo, mas não foi capaz de elevar os teores de P e K disponíveis no solo. O uso desta leguminosa foi considerado excelente estratégia para fornecer N ao solo por Perin et al. (2004) devido a incorporação de 173kg ha<sup>-1</sup> de N ao solo, via fixação biológica de nitrogênio (FBN). Em trabalho com adubação verde na recuperação de um Latossolo, Alcântara et al. (2000) observaram diferenças em teores de N no solo já nos primeiros 10 cm, onde a mineralização da biomassa é mais intensa, indicando a capacidade em fixar nitrogênio atmosférico e a eficiência de seu sistema radicular em aproveitá-lo. O N<sub>2</sub> fixado biologicamente se liga à matéria orgânica do mesmo, tornando-se menos suscetível às transformações químicas do solo, à volatilização ou à lixiviação (Rossi & Castro, 2012).

Tabela 8. Comparação de médias de atributos químicos das duas profundidades estudadas 60 dias após a incorporação da *Crotalaria juncea* L.

Fator	N	CE	MO	Na	Mg	CE	MO	Na
Resid.	(g kg <sup>-1</sup> )	(μS cm <sup>-1</sup> )	(g kg <sup>-1</sup> )	(cmolc dm <sup>3</sup> )	(cmolc dm <sup>-3</sup> )	(μS cm <sup>-1</sup> )	(g kg <sup>-1</sup> )	(cmolc dm <sup>-3</sup> )
----- 0,00-0,15m -----			----- 0,15-0,30m -----					
N1	0,71 A	168,27 A	7,89 A	0,79 A	0,70 A	102,70 A	7,04 A	0,49 A
N2	0,61 A	186,73 A	7,38 A	0,84 A	0,69 A	128,44 A	5,89 A	0,52 A
N3	0,61 A	148,78 A	7,70 A	0,71 A	0,68 A	108,12 A	6,39 A	0,56 A
S1	0,55 A	91,39 C	6,86 B	0,31 C	0,49 B	65,15 C	5,91 A	0,22 C
S2	0,62 A	150,11 BC	8,25 AB	0,55 BC	0,71 AB	97,46 BC	6,58 A	0,42 BC
S3	0,65 A	165,37 AB	6,75 B	0,77 ABC	0,78 AB	98,01 BC	6,49 A	0,52 ABC
S4	0,71 A	209,44 AB	7,23 AB	1,02 AB	0,63 AB	132,08 AB	6,04 A	0,67 AB
S5	0,69 A	223,33 A	9,18 A	1,24 A	0,83 A	172,78 A	7,17 A	0,79 A

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si.

Os teores de Mg (Tabela 8) após a incorporação da cultura reduziram-se de acordo com as doses residuais de nitrogênio, com exceção de N1, tendo apresentado pequena diferença entre doses, o que pode estar associado à ação do efeito da salinidade que atuou sobre esse nutriente. Em trabalho de Alcântara et al. (2000), usando espécies de adubos verdes, os maiores teores de Ca e Mg no solo sob guandu e crotalária se deveu a maior capacidade dessas leguminosas de retornar esses nutrientes ao solo através da sua biomassa. A utilização da crotalária juncea e outras espécies de adubos verdes por Nascimento et al. (2003) possibilitou constatar a eficiência das leguminosas em reciclar esses nutrientes em níveis satisfatórios para a cultura subsequente. Resultados semelhantes foram obtidos por Alcântara (1998) e Pequeno (1999), enquanto que Barreto & Fernandes (2001) verificaram aumento nos teores de Ca + Mg em solos dos tabuleiros costeiros, após a incorporação de biomassa de gliricídia ou leucena.

O teor de Mg do solo na camada de 0,00-0,15 m (Tabela 8) apresentou tendência crescente com o aumento dos níveis de salinidade, com exceção do nível S4. O aumento da concentração de sais no solo apresentou correlação positiva com a relação cálcio/magnésio, segundo Aguiar Netto et al. (2007), em estudo de características dos solos do Perímetro Irrigado Califórnia, em Sergipe. Os autores atribuem o excesso desses nutrientes à alta aplicação de fertilizantes e/ou calcário, ou à qualidade da água. Eles destacam como consequência que plantas estressadas por sais podem apresentar deficiência de magnésio, com redução no crescimento por alteração da razão cálcio/magnésio, acarretando queda na taxa de fotossíntese e declínio na eficiência do

uso de água (Grattan & Grieve, 1993; Freitas et al., 2007).

Tendência semelhante foi observada na resposta da MOS, sendo o menor teor devido a S3 e o maior a S5 (tabela 8). No entanto, a evolução do teor de MOS pode ser observada também com os valores das médias gerais obtidas em cada análise de solo, que apresentaram valores de 0,47 e 0,48 g kg<sup>-1</sup> na primeira avaliação (Tabela 3), e atingiram médias de até 7,65 e 6,44 g kg<sup>-1</sup> nas duas profundidades, respectivamente, após a adubação verde (Tabela 7). Ao avaliarem as características químicas de solo sob adubação verde, Delarmelinda et al. (2010) observaram que a Crotalaria juncea proporcionou os maiores teores de matéria orgânica no solo, concordando com Faria et al. (2004), que avaliaram o efeito da adubação verde nas características químicas do solo e na produtividade e qualidade da uva. Em trabalho de Cavalcante et al. (2007), sobre a influência de salinidade e matéria orgânica na cultura do maracujazeiro-amarelo, foi observada relação entre a matéria orgânica e o aumento da salinidade do solo.

As médias de CE e Na nas duas profundidades apresentaram aumento significativo contínuo a cada nível de salinidade (Tabela 8). Isso pode ser atribuído ao efeito direto da aplicação de água salina, vinte dias anteriores à coleta de solo. Isso é corroborado por Moraes et al. (2011) ao avaliarem diferentes camadas sob influência da água salina na cultura do girassol, e Freitas et al. (2007) ao avaliarem atributos físicos e químicos de dois solos submetidos à irrigação com água salina, os quais encontraram valores maiores nos maiores níveis de condutividade elétrica da água de irrigação, evidenciando a propensão das mesmas em salinizar/sodificar o solo. Conforme discutido por Garcia et al. (2008) a redução de teores de potássio e magnésio em solos recebendo água salina, com conseqüente aumento de cálcio e sódio trocáveis, pode ser atribuído ao aumento da concentração de Ca e Na e a não alteração do K e o Mg, pois o excesso dos primeiros em relação aos segundos fez com que esses íons sejam deslocados por cálcio e sódio nos sítios de adsorção.

A aplicação da estatística descritiva (Tabela 9) permitiu identificar e remover valores extremos na distribuição das variáveis, conforme critérios de Libardi et al. (1996). A simetria da distribuição é indicada pela proximidade entre valores de média e mediana de todas as variáveis e profundidades após a transformação dos dados e comprovada pelos valores de assimetria próximos de zero para todas as variáveis, e pelo ajuste delas à distribuição normal, conforme o teste de Shapiro-Wilk. Simetria e curtose são citados por Vieira et al. (2010) como indicativos do ajuste dos dados à distribuição normal, para o qual esses coeficientes apresentam valores de zero e três,

respectivamente. O ajuste à distribuição normal é importante por facilitar o ajuste dos semivariogramas (Machado et al., 2007) e favorece a estimativa de valores em pontos não amostrados, por meio da krigagem (Paz-Gonzalez et al., 2001).

Tabela 9. Estatística descritiva de atributos químicos do solo em duas profundidades estudadas 30 dias após a incorporação da *Crotalaria juncea* L.

	N (g kg <sup>-1</sup> )	pH (água)	CE* (dS.m <sup>-1</sup> )	MO (g kg <sup>-1</sup> )	P (mg dm <sup>-3</sup> )	K** -----	Na* (cmolc dm <sup>-3</sup> )	Ca -----	Mg** -----
0,00-0,15m									
Média	0,67	7,65	2,58	7,66	24,80	14,36	0,78	2,06	0,69
Mediana	0,63	7,70	2,60	7,49	25,24	14,55	0,75	2,03	0,68
Mínimo	0,42	7,20	1,96	3,76	9,85	4,98	0,21	1,32	0,01
Máximo	0,98	8,00	2,93	12,79	41,94	24,27	1,58	3,37	1,44
Des.									
Padrão	0,14	0,20	0,21	1,98	7,12	5,06	0,38	0,44	0,34
Assimetria	-0,05	-0,26	-0,57	0,30	0,02	-0,19	0,16	0,70	0,04
Curtose	-0,55	-0,59	-0,05	0,16	-0,10	-0,95	-0,93	0,58	-0,43
CV%	20,83	2,59	8,09	25,81	31,39	34,93	48,11	21,32	48,86
Teste S-W									
W	0,96	0,96	0,97	0,98	0,97	0,97	0,96	0,96	0,99
Pr	0,06	0,05	0,09	0,55	0,12	0,12	0,06	0,08	0,71
0,15-0,30m									
Média	0,54	7,45	2,38	6,44	21,62	6,92	0,50	1,66	0,46
Mediana	0,49	7,50	2,38	6,28	21,25	7,29	0,51	1,65	0,55
Mínimo	0,14	7,00	1,95	3,12	7,9	3,85	0,13	0,93	0,01
Máximo	0,98	7,90	2,75	10,62	39,7	10,69	1,10	2,55	1,07
Des.									
Padrão	0,18	0,22	0,21	1,84	6,69	1,60	0,24	0,34	0,31
Assimetria	0,42	-0,12	-0,19	0,17	0,02	-0,07	0,07	0,14	0,20
Curtose	-0,19	-0,44	-0,64	-0,74	-0,43	-0,71	-0,74	0,06	-1,09
CV%	33,66	2,95	8,73	28,51	30,95	23,19	46,66	20,57	66,63
Teste S-W									
W	0,96	0,96	0,97	0,98	0,97	0,97	0,96	0,99	0,96
Pr	0,05	0,06	0,22	0,32	0,21	0,21	0,06	0,86	0,05

\* Dados dos valores transformados em Log; \*\* Dados dos valores transformados em box cox.

Os coeficientes de variação obtidos são considerados baixos por Warrick (1998), para pH e CE nas duas profundidades e médios para as demais variáveis, com exceção do Mg na profundidade de 0,30 m (Tabela 9), cujo CV de 66,63% é considerado alto e indica grande variabilidade do teor do nutriente na área amostrada. Cavalcante et al. (2007) atribuem o alto CV de atributos químicos do solo ao efeito residual de adubações



e à deposição não homogênea de restos culturais sobre o solo. Em relação ao CV, Vanni (1998) considera que uma série de dados é heterogênea e a média tem pouco significado, se ele for maior do que 35 %; se maior do que 65 % a série é muito heterogênea e média não tem significado; a série é homogênea e a média representa a série de dados onde foi obtida se o CV é menor do que 35 %.

Os modelos ajustados aos semivariogramas e seus parâmetros (Tabela 10) indicam que os atributos químicos do solo apresentaram dependência espacial nas duas profundidades avaliadas. Na profundidade de 0,00-0,15 m, as variáveis N, pH, MOS, P e Ca se ajustaram ao modelo exponencial, enquanto que K, Na e Mg se ajustaram ao modelo esférico, e a CE apresentou melhor ajuste ao modelo gaussiano.

Tabela 10. Parâmetros dos modelos ajustados aos semivariogramas isotrópicos para os atributos químicos do solo, 30 dias após a incorporação da *Crotalaria juncea* L

Variável	Modelo	Efeito Pepita	Patamar	Alcance	R <sup>2</sup>	GDE	SQR
		(Co)	(Co+C)	Ao			
0,00-0,15m							
N	Exponencial	0,0030	0,021	3,57	0,23	0,14	7,78x10 <sup>-6</sup>
pH	Exponencial	0,0030	0,042	2,62	0,46	0,07	2,62x10 <sup>-6</sup>
CE	Gaussiano	3330,0	34900,0	5,86	0,71	0,10	6721920
MO	Exponencial	0,4800	4,232	3,01	0,57	0,11	0,031
P	Exponencial	6,3000	64,640	1,83	0,01	0,10	62,0
K	Esférico	0,3700	25,020	11,29	0,54	0,02	4,82
Na	Esférico	0,0045	0,150	10,5	0,83	0,03	1,77x10 <sup>-5</sup>
Ca	Exponencial	0,0078	0,193	2,67	0,31	0,04	1,26x10 <sup>-4</sup>
Mg	Esférico	0,0001	0,113	8,05	0,00	0,01	6,09x10 <sup>-4</sup>
0,15-0,30m							
N	Exponencial	0,004	0,038	12,96	0,92	0,11	2,63x10 <sup>-6</sup>
pH	Esférico	0,002	0,051	11,16	0,47	0,04	2,20x10 <sup>-5</sup>
CE	Exponencial	0,004	0,046	4,84	0,88	0,09	4,62x10 <sup>-6</sup>
MO	Exponencial	1,910	5,984	38,39	0,92	0,32	0,08
P	Esférico	3,400	48,910	10,68	0,50	0,07	10,60
K	Exponencial	0,001	2,501	8,04	0,00	0,01	0,12
Na	Gaussiano	0,008	0,062	6,92	0,80	0,12	3,52x10 <sup>-5</sup>
Ca	Exponencial	0,006	0,118	5,00	0,75	0,05	0,04x10 <sup>-5</sup>
Mg	Esférico	0,001	0,167	8,38	0,00	0,01	2,09x10 <sup>-4</sup>

R<sup>2</sup>: coeficiente de determinação; GDE: grau de dependência espacial; SQR: Soma do quadrado dos resíduos

As variáveis avaliadas na profundidade de 0,15-0,30 m também apresentaram dependência espacial e se ajustaram a diferentes modelos, apresentando N, CE, MOS, K

e Ca (exponencial), pH, P e Mg (esférico) e Na (gaussiano), (Tabela 10). Enquanto os modelos esférico e exponencial são obtidos mais frequentemente em estudos de variabilidade espacial, o modelo gaussiano é obtido ao se modelar fenômenos extremamente contínuos (Silva, 2007).

Os valores extremos de alcances de P e K, obtidos na camada superficial, foram de 1,83 e 11,29 m, respectivamente (Tabela 10). Tendo em vista que o alcance dos semivariogramas para atributos de fertilidade representa o raio, em metros, no qual existe dependência espacial, observa-se que a abrangência da dependência espacial é pequena e, em geral, reflete o efeito de uma parcela. O valor de alcance tem implicação prática na condução de experimentos, porque define a distância na qual os pontos amostrais estão espacialmente correlacionados entre si e podem ser utilizados para estimar valores em qualquer ponto entre eles (Machado et al., 2007).

As diferenças entre os alcances das variáveis nas duas camadas indicam tratar-se de diferentes fenômenos responsáveis pela variabilidade espacial. Os alcances de dependência espacial observados para a camada subsuperficial foram superiores aos obtidos na primeira camada, o que define uma maior expansão dos atributos nesta profundidade após a adubação verde. A CE obteve o menor alcance de 4,84m, enquanto que o alcance da MOS foi o maior obtido neste trabalho, indicando que para essa variável, as amostras seriam independentes a uma distância de 38,39m.

A análise geoestatística indicou dependência espacial dos atributos químicos estudados, nas duas profundidades. Essa dependência foi considerada forte, conforme Cambardella et al. (1994), para todas as variáveis avaliadas nas duas profundidades, com exceção da MOS na camada de 0,15-0,30 m, cuja dependência foi moderada (Tabela 6). Resultados semelhantes com o GDE de atributos químicos do solo foram obtidos por Carvalho et al. (2002), Cavalcante et al. (2007) e Machado et al. (2007). O GDE do K, Na, Ca da primeira camada, bem como com a dependência do pH e Mg da segunda camada atingiram graus muito próximos de zero, considerados próximos de serem espacialmente independentes. Para Bottega et al. (2011), quanto menor o efeito pepita, mais forte é a dependência espacial do atributo em questão. Enquanto que, segundo Cavalcante et al. (2007) uma dependência espacial forte pode estar associada a variações do conjunto de características do solo, enquanto que a dependência moderada seria devido a homogeneização do solo, proporcionadas pelas adubações nos diferentes sistemas de uso e manejo, como no caso da incorporação do adubo verde ao solo.

Os mapas de isovalores da MOS são diferentes nas duas profundidades. A

camada de 0,00-0,15 m (Figura 3A) apresenta teores intermediários de matéria orgânica, bem distribuídas pela área, destacando-se alguns pontos bem definidos com maiores ou menores teores, os quais podem ser relacionados a parcelas específicas, cujo tratamento favoreceu ou prejudicou a decomposição do adubo verde. Na segunda profundidade (Figura 3B) a variável apresentou tendência bem evidente de evolução espacial, consistindo de área central com valores baixos e maiores valores nas laterais, que pode ser explicada por problemas de irrigação e maior lixiviação no centro da área. Em relação aos mapas, partes fundamentais da agricultura de precisão, eles podem ser pós-processados para possibilitar o manejo diferenciado de regiões do campo. Eles resultam da krigagem, técnica de interpolação que estima valores para os locais não amostrados a partir de informações contidas no semivariograma (Machado et al., 2007).

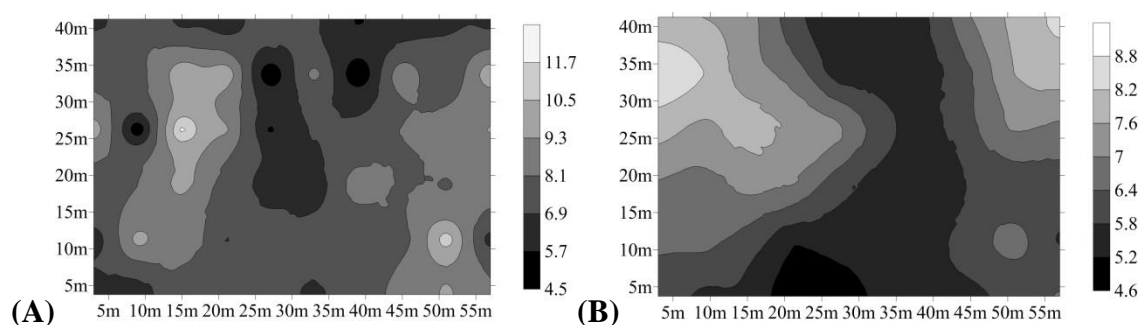


Figura 3. Mapas de isovalores do teor de MOS na área de amostragem ( $\text{g kg}^{-1}$ ) nas camadas (A) 0 a 15 cm e (B) 15 a 30 cm, 30 dias após a incorporação, na área de amostragem

Os macronutrientes N, P e K apresentaram distribuições semelhantes nas profundidades estudadas (Figura 4), atingindo maiores médias na superfície do solo e diminuindo em profundidade. Isso é corroborado por Souza & Alves (2003) e Cavalcante et al. (2007) ao avaliarem atributos químicos em diferentes usos e manejos do solo. Na camada de 0,00-0,15, o N variou entre 0,44 a 0,93  $\text{g kg}^{-1}$  e apresentou predominância dos maiores níveis nos blocos 3 e 1 da área estudada (Figura 4A e Figura 1). O P, que variou entre 12 e 36  $\text{mg dm}^{-3}$ , se comportou de forma semelhante ao N (Figura 4C), porém apresentou maior estabilidade em toda área, destacando apenas alguns pontos extremos no campo. Nas duas profundidades estudadas, observa-se que o K comportou-se de forma semelhante, destacando os pontos de maiores teores no bloco 4, e os menores nas extremidades dos blocos 1 e 2 (Figura 4E e F). As variáveis N e P na camada de 0,15-0,30 m se concentraram em vários pontos, e predominaram com os menores valores na parte central da área experimental (Figura 4B e D). O N destacou

alguns pontos com maiores alcances na segunda camada, onde maior parte do adubo verde foi decomposto e fornecido maior quantidade desse nutriente. Fica evidente o fato de o manejo do solo (adubação e irrigação) interferir na distribuição espacial de seus atributos químicos.

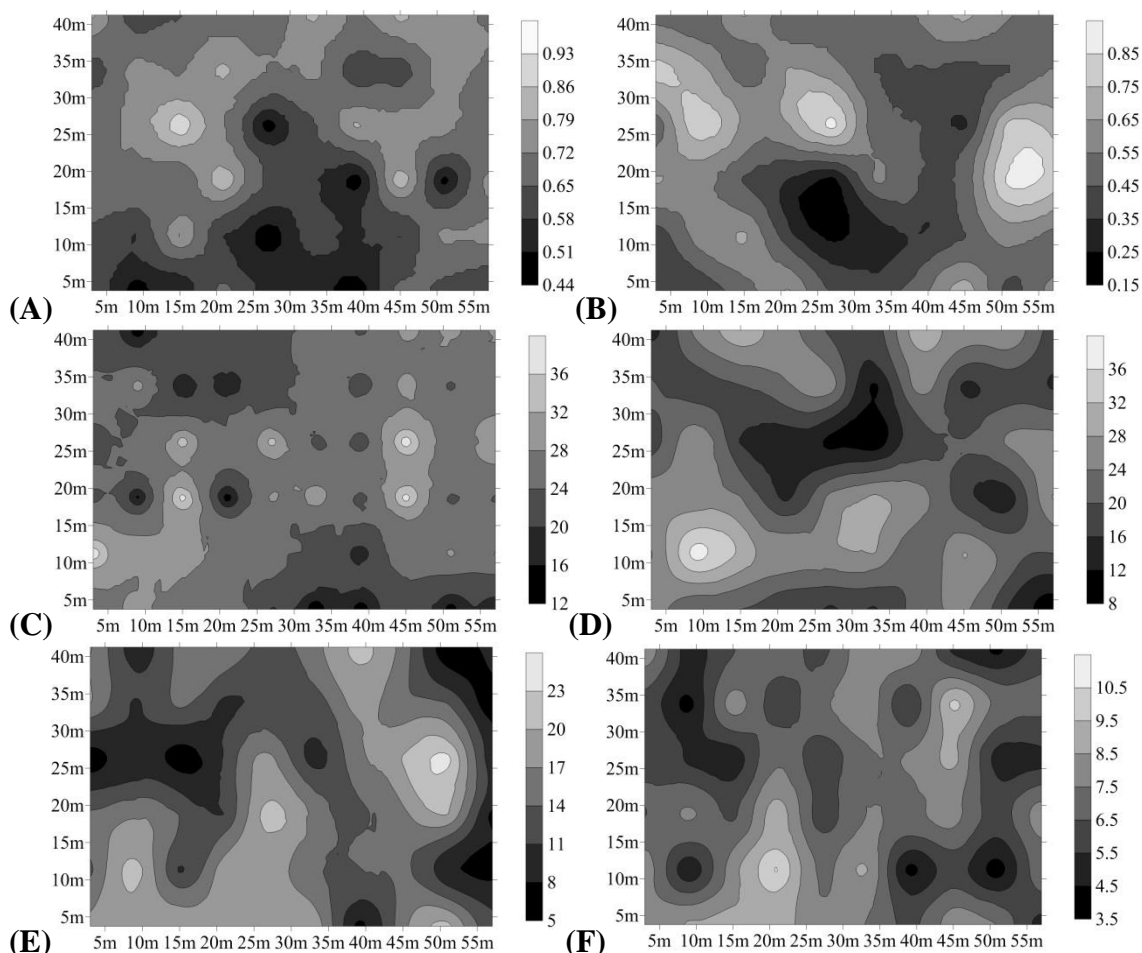


Figura 4. Mapas de isovalores das variáveis N ( $g\ kg^{-1}$ ) nas camadas de (A) 0 a 15 cm e (B) 15 a 30 cm; P ( $mg\ dm^{-3}$ ) nas camadas de (C) 0 a 15 cm e (D) 15 a 30 cm; e K ( $cmol\ dm^{-3}$ ) nas camadas (E) de 0 a 15 cm e (F) de 15 a 30 cm, 30 dias após a incorporação, na área de amostragem

Na avaliação das variáveis Ca e Mg (Figura 5), observa-se que as mesmas apresentaram maiores teores na camada superficial, mesmo com a incorporação da cultura (Figura 5A e C), apesar de Falleiro et al. (2003) ressaltarem em seus trabalhos que os valores de Ca e Mg foram maiores na camada superficial do tratamento semeadura direta e que este resultado foi devido ao não-revolvimento do solo e à ciclagem dos nutrientes pelas culturas, bem como os obtidos por Santos et al. (2012). Na profundidade de 0,15-0,30 m verifica-se semelhança entre ambas variáveis, porém o Mg destacou-se com maiores proporções em determinadas áreas nos mapas (Figura 5B

e D). Estudos realizados por Oliveira et al. (2005) destacam que a origem da acidez do solo é causada, principalmente, por lixiviação de Ca e Mg do solo pela água da chuva ou irrigação, o que não aconteceu nessa pesquisa. Estudos conduzidos por Fernandes et al. (2008) evidenciam tal relação do pH com Ca e Mg.

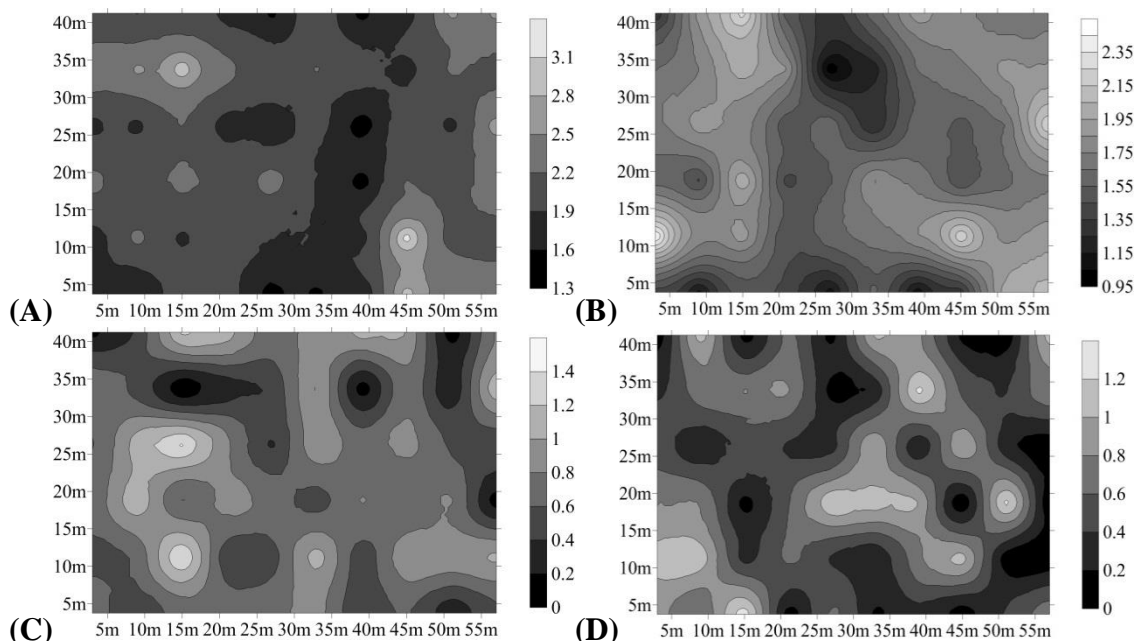


Figura 5. Mapas de isovalores das variáveis Ca ( $\text{cmolc dm}^{-3}$ ) nas camadas de (A) 0 a 15 cm e (B) de 15 a 30 cm e Mg ( $\text{cmolc dm}^{-3}$ ) nas camadas (C) de 0 a 15 cm e (D) de 15 a 30 cm, 30 dias após a incorporação, na área de amostragem

Analisando os mapas de isovalores dos atributos CE e Na, observa-se que na profundidade de 0,00-0,15 m os dois atributos comportaram-se de forma semelhante, com variações entre os maiores e menores valores dispersos em toda a área experimental (Figura 6A e C). Esse comportamento deve-se aos efeitos causados pelos diferentes níveis de salinidades usados na água de irrigação, destacando a variação das áreas mais escuras para as mais claras em resposta aos níveis S1 até S5, respectivamente. Na segunda profundidade estudada, a CE se destacou com grande parte escura do centro da área experimental como resposta ao menor nível S1 aplicado que lixiviou e concentrou-se no local, o que também se repetiu para os maiores níveis nas laterais (Figura 6B e Figura 1). O Na, por sua vez, apresentou pequenas concentrações em determinados pontos das áreas, também ocasionado pela maior ou menor lixiviação dos sais aplicados (Figura 6D).

Os valores de pH variaram conforme aumentou a profundidade do solo (Figura 7A e B), onde as maiores áreas ocupadas por esse atributo pode ser observada na profundidade de 0,15-0,30 m, que apresentou os maiores alcances provavelmente

causados pela maior mobilidade desta variável, o que ocorreu igualmente para as bases trocáveis no solo como observado, o que foi corroborado com Souza et al. (2006) e Burak et al. (2012).

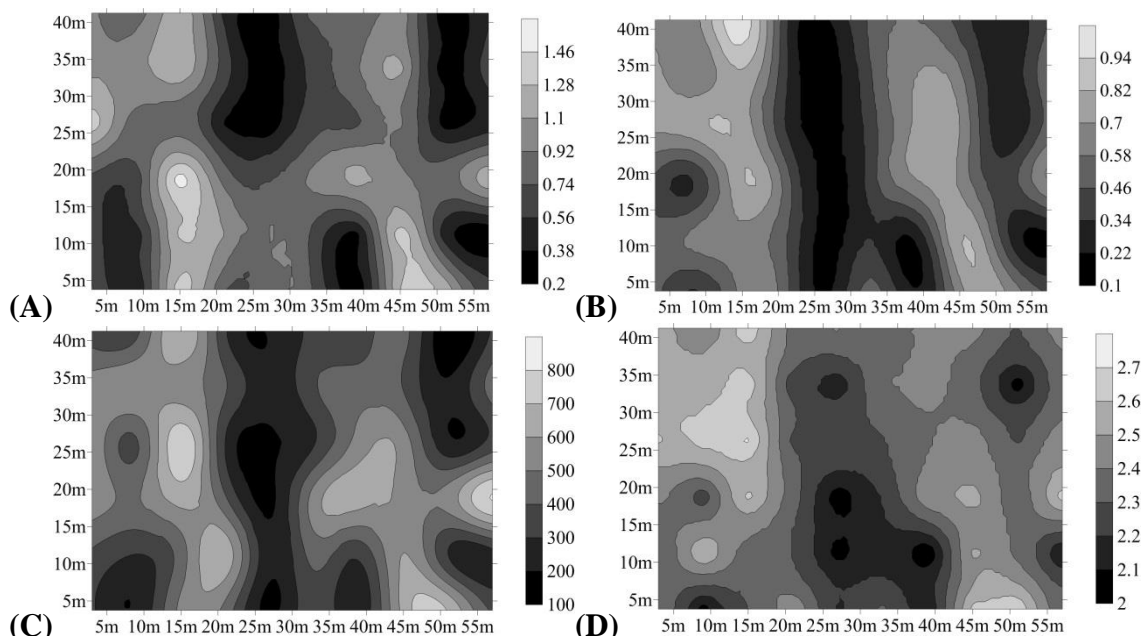


Figura 6. Mapas de isovalores das variáveis Na (cmolc dm<sup>-3</sup>) nas camadas (A) de 0 a 15 cm e (B) 15 a 30 cm e CE (dS m<sup>-1</sup>) nas camadas de (C) 0 a 15 cm e (D) de 15 a 30 cm, 30 dias após a incorporação, na área de amostragem

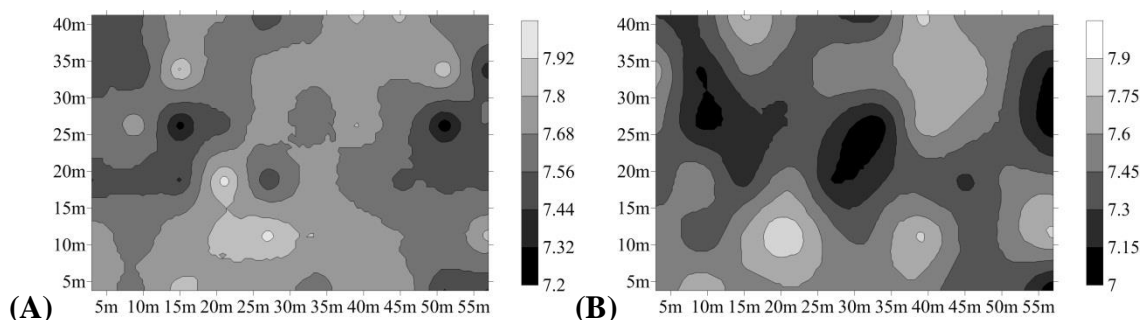


Figura 7. Mapas de isovalores de duas profundidades da variável pH (A) de 0 a 15 cm e (B) 15 a 30 cm, 30 dias após a incorporação, na área de amostragem. Mossoró, 2014

De acordo com Souza et al. (2004) para o entendimento das causas da variabilidade do solo, é preciso conhecer os processos do solo que operam em locais específicos. Para uma gleba de plantio manejada por vários anos, como a área experimental estudada, a variabilidade dos atributos químicos do solo é o resultado da sobreposição de fatores naturais como material de origem e textura do solo, e de práticas de manejo locais, principalmente adubação mineral, ressaltam Gomes et al. (2008) e Castrignanò et al. (2000).

#### 4 CONCLUSÕES

Foi constatado efeito residual das doses de nitrogênio na profundidade de 0,00–0,15 m para o Mg, e de 0,15-0,30 m para o N, pH e CE, antes da implantação da leguminosa;

As características químicas do solo foram pouco influenciadas pela presença da crotalaria juncea aos 30 DAS. Houve incremento linear no Ca de acordo com a concentração do resíduo dos níveis de salinidade na primeira profundidade, enquanto o K aumentou conforme as doses de nitrogênio residuais na profundidade de 0,30 m.

A incorporação do adubo verde promoveu acréscimo do Mg e N total do solo na camada superficial. Os níveis de salinidade da água elevaram os teores de CE e Na nas duas profundidades, e influenciaram nos teores de Mg e MOS em superfície.

As características químicas do solo apresentaram dependência espacial nas duas profundidades estudadas.

Os alcances obtidos para o K, Na e Mg na primeira profundidade atingiram valores superiores ao tamanho das parcelas, enquanto que na segunda, somente os alcances da CE e Ca foram inferiores, indicando tratar-se de diferentes fenômenos responsáveis pela variabilidade espacial.

## LITERATURA CITADA

AGUIAR NETTO, A. O.; GOMES, C. C. S.; LINS, C. C. V.; BARROS, A. C.; CAMPECHE, L. F. S. M.; BLANCO, F. F. **Características químicas e salino-sodicidade dos solos do Perímetro Irrigado Califórnia, SE, Brasil.** *Ciencia Rural* v.37, n.6, Santa Maria, Nov./Dec. 2007

ALCÂNTARA, F. A. **Adubação verde na recuperação da fertilidade de um solo degradado.** Dissertação de Mestrado, Lavras: UFLA, 1998. 104p.

ALCÂNTARA, F. A.; FURTINI NETO, A. E.; PAULA, M. B. DE; MESQUITA, H. A.; MUNIZ, J. A. Adubação verde na recuperação da fertilidade de um Latossolo Vermelho-Escuro degradado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.35, n.2, p.277-288, 2000.

ALMEIDA, B. M. **Evapotranspiração, coeficiente de cultura e produção do milho sob condições de salinidade residual.** Dissertação de Mestrado, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, RN, 82f., 2012.

ALMEIDA, O. A.; GISBERT, J. M. Efecto de la utilización del agua de drenaje en suelos argilosos. **In: CONGRESSO BRASILEIRO DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, XII, 2002, Uberlândia. Resumos...** Uberlândia: ABID, p. 1-6. 2002.

BARRETO, A. C.; FERNANDES, M. F. Cultivo de *Gliricídia sepium* e *Leucaena leucocephala* em alamedas visando a melhoria dos solos dos tabuleiros costeiros. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.36, n.10, p.1287-1293, 2001.

BOTTEGA, E. L.; SILVA, S. A.; COSTA, M. M.; BOTTEGA, S. P. Cokrigagem na estimativa dos teores de Ca e Mg em um Latossolo Vermelho distroférrico. **Revista Ciência Agronômica**, v. 42, n. 4, p. 821-828, out-dez, 2011.

BURAK, D. L.; PASSOS, R. R.; ANDRADE, F. V. Variabilidade espacial de atributos químicos do solo sob cafeeiro Conilon: relação com textura, matéria orgânica e relevo. **Bragantia**, Campinas, v. 71, n. 4, p.538-547, 2012

CAMBARDELLA, C. A.; MOORMAN, T. B.; NOVAK, J. M.; PARKIN, T. B.; KARLEN, D. L.; TURCO, R. F.; KONOPKA, A. E. Field-scale variability of soil properties in Central Iowa Soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.58, n. 5, p. 1501-1511, 1994.

CARMO, G. A. **Crescimento, nutrição e produção de cucurbitáceas cultivadas sob diferentes níveis de salinidade da água de irrigação e doses de adubação nitrogenada.** Tese (Doutorado em Fitotecnia: Área de concentração em Produção Vegetal) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA, Mossoró, 2009. 182 f.

CARMO FILHO F.; OLIVEIRA O. F. Mossoró: um município do semi-árido nordestino, caracterização climática e aspecto florístico. Mossoró: ESAM, (**Coleção Mossoroense, Série B**) 62p. 1995.



CARVALHO, J. R. P.; SILVEIRA, P. M.; VIEIRA, S. R. Geoestatística na determinação da variabilidade espacial de características químicas do solo sob diferentes preparos. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v. 37, n. 8, p. 1151-1159, ago. 2002.

CASTRIGNANÒ, A.; GIUGLIARINI, L.; RISALITI, R.; MARTINELLI, N. Study of spatial relationships among some soil physico-chemical properties of a field in central Italy using multivariate geostatistics. **Geoderma**, 97:39-60, 2000.

CAVALCANTE, E. G. S.; ALVES, M. C.; SOUZA, Z. M.; PEREIRA, G. T. Variabilidade espacial de atributos químicos do Solo sob diferentes usos e manejos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, n. 31, p. 1329-1339, 2007

CAVALCANTE, E. G. S.; ALVES, M. C.; SOUZA, Z. M.; PEREIRA, G. T.; SOUZA, Z. M. Variabilidade espacial de MO, P, K e CTC do solo sob diferentes usos e manejos. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.37, n.2, p.394-400, mar-abr, 2007

CAVALCANTE, L. F.; RODOLFO JUNIOR, F.; SÁ, J. R.; CURVELO, C. R. S.; MESQUITA, E. F. Influência da água salina e matéria orgânica no desempenho do maracujazeiro-amarelo e na salinidade do substrato. **Irriga**, Botucatu, v. 12, n. 4, p. 505-518, outubro-dezembro, 2007

COSTA, K. A. P.; FAQUIN, V.; OLIVEIRA I. P.; RODRIGUES, C.; SEVERIANO, E. C. Doses e fontes de nitrogênio em pastagem de capim-marandu. I - alterações nas características químicas do solo. **Revista Brasileira Ciência do Solo**. vol. 32, nº.4, Viçosa, July/Aug. 2008

DELARMELINDA, E. A.; SAMPAIO, F. A. R.; DIAS, J. R. M.; TAVELLA, L. B.; SILVA, J. S. Adubação verde e alterações nas características químicas de um Cambissolo na região de Ji-Paraná-RO. **Acta Amazônica**. vol.40 no.3 Manaus Sept. 2010

EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos, 1997. 212p.

EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2.Ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 2006. 412p.

FAGERIA, N. K.; SANTOS, A. B. Resposta do arroz irrigado à adubação verde e química no Estado de Tocantins. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**, v. 11, n. 4, p. 387-392, 2007.

FALLEIRO, R. M.; SOUZA, C. M.; SILVA, C. S. W.; SEDIYAMA, C. S.; SILVA, A. A.; FAGUNDES, J. L. Influência dos sistemas de preparo nas propriedades químicas e físicas do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, p.1097-1104, 2003.

FARIA, C. M. B.; SOARES, J. M.; LEÃO, P. C. S. Green manuring grapevine with legumes in the San Francisco submedium. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, (28): 641-648, 2004.

FERNANDES, L. A.; RAMOS, S. J.; VALADARES, S. V.; LOPES, P. S. N.; FAQUIN, V. Fertilidade do solo, nutrição mineral e produtividade da bananeira irrigada por dez anos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43, n. 11, p. 1575-1581, nov. 2008.

FIGUEIRÊDO, V. B. **Evapotranspiração, crescimento e produção damelancia e melão irrigados com águas de diferentes salinidades**. Tese (Doutorado), Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, SP, 2008. 104f.

FIGUEIRÊDO, V. B.; MEDEIROS, J. F.; ZOCOLER, J. L.; ESPINOLA SOBRINHO, J. Evapotranspiração da cultura da melancia irrigada com água de diferentes salinidades. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 29, n. 2, p. 172-338, abr./jun. 2009.

FRANCHINI, J.C.; BORKERT, C. M.; FERREIRA, M. M.; GAUDÊNCIO, C. A. Alterações na fertilidade do solo em sistemas de rotação de culturas em semeadura direta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.24, n.2, p.459–467, 2000.

FREITAS; E. V. S.; FERNANDES, J. G.; CAMPOS, M. C. C.; FREIRE, M. B. G. S. Alterações nos atributos físicos e químicos de dois solos submetidos à irrigação com água salina. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v. 7, n. 1, p. 21-28, 2007.

GAMMA DESIGN SOFTWARE. **GS+® - Geostatistics for the Environmental Sciences**. Version 7.0. Michigan: 2004. 1 CD-ROM..

GARCIA, G. O.; MARTINS FILHO, S.; REIS, E. F.; MORAES, W. B.; NAZÁRIO, A. A. Alterações químicas de dois solos irrigados com água salina. **Revista Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v. 39, n. 01, p. 7-18, Jan.- Mar., 2008.

GOLDEN SOFTWARE. **Surfer, version 8.0**. Conjunto de programas. 1 CD-Rom e manuais. (informações em <http://www.goldensoftware.com>). 2005.

GOMES, J. B. V.; BOLFE, E. L.; CURI, N., FONTES, H. R.; BARRETO, A. C.; VIANA, R. B. Variabilidade espacial de atributos de solos em unidades de manejo em área piloto de Produção integrada de coco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 32:2471-2482, 2008

GRATTAN, S. R.; GRIEVE, C. M. Mineral nutrient acquisition and response by plants grown in saline environments. In: PESSARAKLI, P. **Handbook of plant and crop stress**. New York: Marcel Dekker, p203-225, 1993.

GUERRA, P.A.G. **Geoestatística operacional**. Brasília: Ministério das Minas e Energia, Departamento de Produção Mineral, 1988. 145p.

LANGE, A.; CARVALHO, J. L. N.; DAMIN, V.; CRUZ, J. C.; MARQUES, J. J. Alterações em atributos do solo decorrentes da aplicação de nitrogênio e palha em sistema semeadura direta na cultura do milho. **Ciência Rural**, Santa Maria v.36, n.2, mar-abr, 2006.

LIBARDI, P. L.; MANFRON, P. A.; MORAES, S. O.; TUON, R. L. Variabilidade da umidade gravimétrica de um solo hidromórfico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.20, p.1-12, 1996.

MACEDO, L. S.; SANTOS, J. B. Efeito da aplicação de água salina sobre os solos irrigados na Bacia Sucuru/Sumé, PB. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 27, n.06, p. 915-922, 1992.

MACHADO, L. O.; LANA, A. M. Q.; LANA, R. M. Q.; GUIMARÃES, E. C.; FERREIRA, C. V. Variabilidade espacial de atributos químicos do solo em áreas sob sistema plantio convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 3, p. 591-599, 2007.

MATTOS JUNIOR, D.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO J. A. **Perdas por volatilização do nitrogênio fertilizante aplicado em pomares de citros**. Laranja, Cordeirópolis, v.23, n.1, p.263-270, 2002.

MATEUS, G. P.; WUTKE, E. B. Espécies de leguminosas utilizadas como adubos verdes. **Pesquisa & Tecnologia**, vol. 3, n.1 Jan-Jun 2006.

MEDEIROS, J. F.; DIAS, N. S.; BARROS, A. Caracterização das águas usadas para irrigação na área produtora de melão da Chapada do Apodi. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.7, n. 04, p.469-472, 2003.

MEDEIROS, J. F.; SILVA, M. C. C.; SARMENTO, D. H. A.; BARROS, A.D. Crescimento do meloeiro cultivado sob diferentes níveis de salinidade, com e sem cobertura do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.11, n.3, p.248–255, Campina Grande- PB, 2007.

MELO, T. K.; MEDEIROS, J. F.; ESPÍNOLA SOBRINHO, J.; FIGUEIRÊDO, V. B.; PEREIRA, V. C.; CAMPOS, M. S. Evapotranspiração e produção do melão Gália irrigado com água de diferentes salinidades e adubação nitrogenada. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, UAEA/UFCG, v.15, n.12, p.1235–1242, 2011.

MIYAZAWA, M.; PAVAN, M. A. e FRANCHINI, J. C. **Neutralização da acidez do perfil do solo por resíduos vegetais**. (Informações agronômicas nº 92, Encarte técnico) 8p. 2000.

MORAIS, F. A.; GURGEL, M. T.; OLIVEIRA, F. H. T.; MOTA, A. F. Influência da irrigação com água salina na cultura do girassol. **Revista Ciência Agronômica**, v. 42, n. 2, p. 327-336, abr-jun, 2011.

NASCIMENTO, J. T.; SILVA, I. F.; SANTIAGO, R. D.; SILVA NETO, L. F. Efeito de leguminosas nas características químicas e matéria orgânica de um solo degradado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campina Grande, v.7, n.3, p.457-462, 2003.

NASCIMENTO, J. T.; SILVA, I. F.; SANTIAGO, R. D.; SILVA NETO, L. F. Efeito de leguminosas nos atributos físicos e carbono orgânico de um Luvissole. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, n. 5, p. 825-831, 2005.

OLIVEIRA, I. P.; PINHO COSTA, K. A., SANTOS, K. J. G., MOREIRA, F. P. Considerações sobre a acidez dos solos de cerrado. **Revista Eletrônica Faculdade Montes Belos**, Goiás-GO. v. 1, n. 1, p. 01-12, ago. 2005.

PAZ-GONZALEZ, A.; TABOADA CASTRO, M. T.; VIEIRA, S. R. Geostatistical analysis of heavy metals in a one-hectare plot under natural vegetation in a serpentine area. **Canadian Journal of Soil Science**, Ottawa, v. 81, p. 469-479, 2001.

PEQUENO, P. L. L. **Sistema radicular de leguminosas: Efeito nas propriedades físicas de um Podzólico Vermelho-Amarelo no município de Alagoinha, PB.** Dissertação de Mestrado, Areia: UFPB, 1999. 52p.

PERIN, A. SANTOS, R. H. S.; URQUIAGA, S.; GUERRA, J. G. M.; CECON, P. R. Produção de fitomassa, acúmulo de nutrientes e fixação biológica de nitrogênio por adubos verdes em cultivo isolado e consorciado. **Pesquisa. Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.39, n.1, p.35-40, jan. 2004.

PRASERTSAK, P.; FRENEY, J. R.; DENMEAD, O. T. Significance of gaseous nitrogen loss from a tropical dairy pasture fertilized with urea. **Aust. J. Exp. Agric.**, 41:625-632, 2001.

REICHARDT, K. **Processos de transferência no sistema solo-planta-atmosfera.** Campinas, Fundação Cargill, 1985. 445p.

ROBERTSON, G.P. GS+: geostatistics for the environmental sciences – GS+ User's guide. **Plainwell: Gamma Design Software**, 1998. 152 p.

ROSSI, G.; CASTRO, P. R. C. **Ecofisiologia dos adubos verdes.** Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, ESALQ/USP. Série Produtor Rural, nº 51. 2012.

RUARO, L.; LIMA NETO, V. C.; RIBEIRO JÚNIOR, P. J. Influência do boro, de fontes de nitrogênio e do pH do solo no controle de hérnia das crucíferas causada por *Plasmodiophora brassicae*. **Tropical Plant Pathology**, Curitiba, vol. 34, 4, 231-238, 2009.

SANTOS, W. O. **Ajuste da evapotranspiração de referência estimada através de 10 métodos em Mossoró-RN à diferentes distribuições densidade de probabilidade.** Monografia (Graduação em Agronomia) - Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), Mossoró-RN. 2010. 222 f.

SANTOS, W. O. **Necessidades hídricas, desenvolvimento e análise econômica da cultura do milho nas condições do semiárido brasileiro.** Dissertação (Mestrado), Universidade Federal Rural do Semi-Árido - UFERSA, Mossoró - Rn, 2012. 105 f.

SANTOS, G. G.; SILVEIRA, P. M.; MARCHÃO, R. L.; PETTERIV, F. A.; BECQUER, T. Atributos químicos e estabilidade de agregados sob diferentes culturas de cobertura em Latossolo do cerrado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. vol.16, no.11, Campina Grande, Nov., 2012

SHAPIRO, S. S; WILK , M. B. An analysis of variance test for normality (complete samples). **Biometrika**, v .52, n.2, 1965.

SILVA, C. R. S. **Estudo das características físico-químicas do solo em plantio de erva-mate (ilex paraguariensis st. hil.) através da geoestatística e do geoprocessamento.** Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007, 113 p.

SILVA, J. S. **Evapotranspiração e produção de melancia sob diferentes níveis de nitrogênio e da salinidade da água de irrigação.** Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem: Área de concentração em Irrigação e Drenagem) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFRSA. Mossoró, 2010. 97 f.

SILVA, F. A. S.; AZEVEDO, C. A. V. A new version of the assistat-statistical assistance software. In: **WORLD CONGRESS ON COMPUTERS IN AGRICULTURE**, 4., Orlando. **Anais...** Orlando: American Society of Agricultural Engineers, 2006. p.393-396.

SILVA, T. O.; MENEZES, R. S. C. Adubação orgânica da batata com esterco e, ou, *Crotalaria juncea*. II – Disponibilidade de N, P e K no solo ao longo do ciclo de cultivo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, n. 1, p. 51-61, 2007.

SILVA, P. S.; SILVA, P. I. Efeitos de épocas de aplicação de nitrogênio no rendimento de grãos do milho. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v. 37, n. 8, p. 1057-1064, 2002.

SOUZA, Z. M.; ALVES, M. C. Propriedades químicas de um Latossolo Vermelho distrófico de cerrado sob diferentes usos e manejos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 27:133-139, 2003.

SOUZA., Z. M.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G. T.; MOREIRA, L. F. Variabilidade espacial do pH, Ca, Mg e V% do solo em diferentes formas do relevo sob cultivo de cana-de-açúcar. **Ciência Rural**, v. 34, n. 06, p. 1763-1771, 2004.

SOUZA, Z.M.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G.T.; BARBIERI, D.M. Small relief shape variations influence spatial variability of soil chemical attributes. **Scientia Agricola**, v.63, p.161-168, 2006.

VANNI, S.M. **Modelos de regressão: Estatística aplicada.** São Paulo, Legmar Informática, 1998. 177p.

VIEIRA, S. R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In: NOVAIS R. F.; ALVAREZ, V., V. H.; SCHAEFER, G. R. **Tópicos em ciência do solo.** Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. v.1, p.1-54.

VIEIRA, S. R.; BRANCALIÃO, S. R.; GREGO, C. R.; MARTINS, A. L. M. Variabilidade espacial de atributos físicos de um argissolo vermelho-amarelo cultivado com leguminosas consorciada com a seringueira. **Bragantia**, vol.69, n.º.2, Campinas. 2010.

WARRICK, A. W. Spatial variability. In: HILLEL, D. **Environmental soil physics**. San Diego: Academic Press, 1998. p.655-675.

### **CAPÍTULO 3 - EXIGÊNCIAS CLIMÁTICAS E CONSUMO DE ÁGUA NO CULTIVO DE CROTALÁRIA JUNCEA COMO ADUBO VERDE**

#### **RESUMO**

O cultivo de leguminosas para adubação verde em condições semiáridas também requer irrigação e, sabendo que o uso de água salobra ou cultivo em solos salinizados podem afetar o crescimento das plantas, sua utilização pode atuar diretamente sobre a recuperação da qualidade dessa área. O trabalho objetivou avaliar a evapotranspiração e o consumo de água pela *Crotalaria juncea* L. utilizando lisímetros de pesagem em um solo sob efeito residual de níveis de salinidade e doses de nitrogênio. O experimento foi realizado na Fazenda Experimental Rafael Fernandes, da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), Mossoró, RN, Brasil. Em anos anteriores, a área experimental recebeu seis experimentos consecutivos com diferentes culturas, em delineamento de blocos ao acaso, com parcelas subdivididas 5 x 3, correspondentes a níveis de salinidade e doses de nitrogênio, com quatro repetições. Foi estimada a ETo diária pela equação de Penman-Monteith-FAO, a evapotranspiração da cultura utilizando lisímetros de pesagem e, em seguida, determinado o coeficiente de cultura. A análise das variáveis avaliadas foi feita utilizando as médias dos dados meteorológicos obtidos, e as médias dos kc's até o estágio de florescimento da cultura obtido pelos lisímetros, utilizando o programa Excel 2010. As ETc's durante todo o ciclo de 56 dias apresentaram valores de 228,55 e 189,53 mm para S1 e S2, respectivamente. A crotalaria juncea apresentou maior consumo de água para o nível de salinidade residual S1 em todas as fases, embora o consumo no nível S5 tenha sido próximo aos obtidos pelo menor resíduo, denotando tolerância da leguminosa ao longo do cultivo. Os valores de Kc's obtidos nas três fases pelos dois lisímetros foram: 0,34; 0,87 e 1,41 (S1) e 0,32; 0,54 e 1,31 (S5), sob efeito residual.

**Palavras-chave:** Irrigação. Evapotranspiração. Adubo verde.

## CHAPTER 3 - CLIMATE REQUIREMENTS AND WATER CONSUMPTION IN GROWING CROTALARIA JUNCEA HOW GREEN MANURE

### ABSTRACT

The leguminous cultivation for green manure in semi-arid conditions also requires irrigation and, since the use of brackish or saline soil cultivation can affect the growth of plants, their use can act directly at the recovery of this area. The objective of this study was to assess evapotranspiration and water consumption by *Crotalaria juncea* L. using weighing lysimeters in a soil under effect of residual levels of salinity and nitrogen levels. The trial was carried out at the experimental farm of Federal Rural University of Semiarid (UFERSA), at Mossoró, RN, Brazil. In previous years, the experimental area received six consecutive trials, which tested different levels of nitrogen and water salinity on different crops. In this sense, The same experimental design was applied to this trial here, namely randomized blocks with split plots 5 x 3, corresponding to the residual effect of salinity and nitrogen, with four replications. Daily ETo was estimated by the Penman-Monteith-FAO equation, the crop evapotranspiration using weighing lysimeters and then determined the crop coefficient. The analysis of the variables was made using the average of the obtained weather data, and the averages of kc's up to the flowering stage of the crop obtained by lysimeters, using the Excel 2010 program. The Etc's during the entire cycle had values of 228,55 and 189,53 mm dia<sup>-1</sup>. The sunn hemp showed higher water consumption to the level of residual salinity S1 at all stages, although the consumption level in S5 has been close to those obtained at the lower residue, indicating tolerance of legume cultivation over. Kc's three phases obtained by the two lysimeters were 0,34; 0,87 and 1,41 (S1) and 0,32; 0,54 and 1,31 (S5) under effect residual.

**Keywords:** Irrigation. Evapotranspiration. Green manure.



## 1 INTRODUÇÃO

Adubação verde é uma prática que consiste no plantio de espécies nativas ou introduzidas, cultivadas em rotação ou consórcio com culturas de interesse econômico. Compreende o emprego de um conjunto de medidas estratégicas que possibilite o desenvolvimento racional e eficiente das condições da unidade produtiva, com o objetivo de promover um equilíbrio entre as exportações pelas culturas e a necessidade de reposição ao ambiente (Sousa, 2011). Tais benefícios podem contribuir para maior estabilidade do sistema produtivo e culminar com menores custos de produção.

As leguminosas têm sido mais usadas como adubo verde devido à sua rusticidade, ao sistema radicular profundo e à simbiose com bactérias fixadoras do N<sub>2</sub> atmosférico. As espécies mais utilizadas fixam, biologicamente, o nitrogênio, produzem grandes quantidades de matéria seca, têm concentração elevada de nutrientes na parte aérea, e são de fácil decomposição (Silva; Menezes, 2007). A crotalária juncea (*Crotalaria juncea* L.) é originária da Índia, com ampla adaptação às regiões tropicais do mundo, mesmo em solos arenosos, soltos e com fertilidade diminuída, embora seja muito sensível ao alumínio do solo.

A determinação do consumo de água, evapotranspiração e dos coeficientes de cultura por meio da utilização de lisimetria vem sendo empregada no Brasil, sendo o lisímetro de pesagem o modelo mais empregado em estudos de culturas de médio porte como as culturas anuais (Medeiros et al., 2003; Carvalho et al., 2007; Santos et al., 2008). Quando bem instalados, possibilitam medidas precisas da evapotranspiração, principalmente quando os mesmos são preenchidos corretamente, pois, dessa forma, as camadas de solo no seu interior assemelham-se o máximo possível às camadas de solo da área externa (Silva, 2003).

Os lisímetros são divididos em duas categorias: os não pesáveis (também chamados volumétricos, de drenagem ou lisímetro de compensação) e os lisímetros de pesagem (gravimétricos). Estes últimos envolvem vários princípios e dispositivos de medida que podem ser balanças mecânicas que apresentam um sistema de alavancas com braço de apoio ligado às células de carga indicadoras de esforço, onde a variação da massa do lisímetro tem sido medida por células de carga que alteram uma corrente variando sua resistência em função de micro deformação causada pela variação da massa sustentada (Santos, 2012).

A determinação da demanda hídrica de uma cultura permite o ajuste de diversas práticas de manejo, como a irrigação, além do melhor planejamento da lavoura com vistas a aumentar o seu potencial produtivo, promovendo reduções de riscos e de custos para a produção, e aumento da eficiência de utilização da água, principalmente em regiões ou épocas em que há limitações hídricas (Sans et al., 2001; Heinemann et al., 2001; Bergamaschi et al., 2004).

Para determinar a evapotranspiração da cultura (ET<sub>c</sub>) é necessário obter a evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>), que diz respeito às condições climáticas do local de interesse, conjuntamente com as características fisiológicas e morfológicas da cultura, representadas por meio do seu coeficiente de cultura (K<sub>c</sub>), que incorpora características da planta (como o índice de área foliar) e efeitos da evaporação do solo, variando ao longo do ciclo em função da taxa de crescimento e, conseqüentemente, da variação da cobertura do solo (Allen et al., 1998).

A evapotranspiração de referência expressa o poder de evaporação da atmosfera de um local e tempo específico e não leva em consideração as características da cultura e fatores do solo. O método de Penman-Monteith, recomendado pela FAO para o cálculo da ET<sub>o</sub>, é o melhor método a se utilizar quando se tem dados climáticos completos e assim poder estimar as necessidades de água para a irrigação (Allen et al., 2007). O K<sub>c</sub> representa um indicador de significado físico e biológico, uma vez que depende da área foliar, da arquitetura, da cobertura vegetal e da transpiração da planta (Allen et al., 2006).

Partindo-se do princípio de que todas as águas contêm sais, mesmo utilizando águas para irrigação que apresentam reduzidas concentrações, existe um certo potencial de salinização em condições de chuvas e/ou drenagem insuficientes. Normalmente, em regiões áridas e semiáridas, as águas superficiais e subterrâneas apresentam maior concentração salina do que em regiões úmidas e subúmidas, o que vai se somar ao problema de salinização e sodificação do solo (Medeiros, 1998; Figueirêdo, 2009).

Essa realidade é verificada, sobretudo, em regiões semiáridas tornando conveniente o melhor manejo dessa água para diminuir os efeitos negativos sobre o ambiente, principalmente em relação às culturas e ao solo.

Diante do exposto, o presente trabalho teve como objetivo avaliar a evapotranspiração e o consumo de água pela *Crotalaria juncea* L. utilizando lisímetros de pesagem em um solo sob efeito residual de níveis de salinidade e doses de nitrogênio.

## **2 MATERIAL E MÉTODOS**

### **2.1 Localização do experimento**

O experimento foi conduzido na Fazenda Experimental Rafael Fernandes, localizada na comunidade de Alagoinha (5°03'37"S; 37°23'50"W e altitude de 72 m), pertencente à Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), distante 20 km da cidade de Mossoró/RN. O solo da área experimental é classificado como LATOSSOLO VERMELHO AMARELO Argissólico franco arenoso (EMBRAPA, 2006).

De acordo com a classificação climática de Köppen, o clima de Mossoró é do tipo BSw<sup>h</sup>, isto é, seco, muito quente e com estação chuvosa no verão atrasando-se para o outono, apresentando temperatura média anual de 27,4 °C, precipitação pluviométrica anual muito irregular, com média de 673,9 mm e umidade relativa do ar de 68,9% (Carmo Filho & Oliveira, 1995). Segundo a classificação climática de Thornthwaite, Mossoró apresenta um clima do tipo DdA'a', ou seja, semiárido, megatérmico com pouco ou nenhum excesso de água durante o ano (Santos, 2010).

### **2.2 Delineamento e caracterização da área experimental**

O experimento foi conduzido em um delineamento em blocos ao acaso, com parcelas subdivididas 5 x 3, com quatro repetições. As parcelas corresponderam à aplicação nos anos anteriores dos cinco níveis de salinidade, e as subparcelas corresponderam à aplicação das três doses de nitrogênio, situada em uma área de 0,27 há.

Os lisímetros possuíam dimensões de 1,5 m x 1,5 m (2,25 m<sup>2</sup> de área) e 1,0 m de profundidade. Para a semeadura, realizada nos dias 20, 21 e 22 de junho de 2012, foram utilizadas três sementes por cova, plantadas em fileira dupla, com espaçamento de 0,05 m entre plantas e 0,2 m entre fileiras simples. Entre sete e oito dias após a emergência das plântulas foi realizado o desbaste, permanecendo apenas uma planta por cova,.

O controle das plantas daninhas foi realizado manualmente dentro dos lisímetros, durante o período crítico de competição, de 20 a 60 dias após emergência (DAE). A irrigação foi conduzida por meio de um sistema independente, instalado próximo a cada lisímetro, utilizando-se microtubos (espaguetes) para distribuição de água às plantas, que simula a irrigação por gotejamento. Essa técnica foi utilizada para

obter um maior controle no volume de água que entrava no sistema (lisímetro). As plantas do lisímetro 4 foram afetadas por fusarium, resultando na morte total das mesmas, e reduzindo assim a metade da sua irrigação (Figura 1), e ao final, seus dados foram descartados, utilizando apenas os dados dos lisímetros 1, 2 e 3..

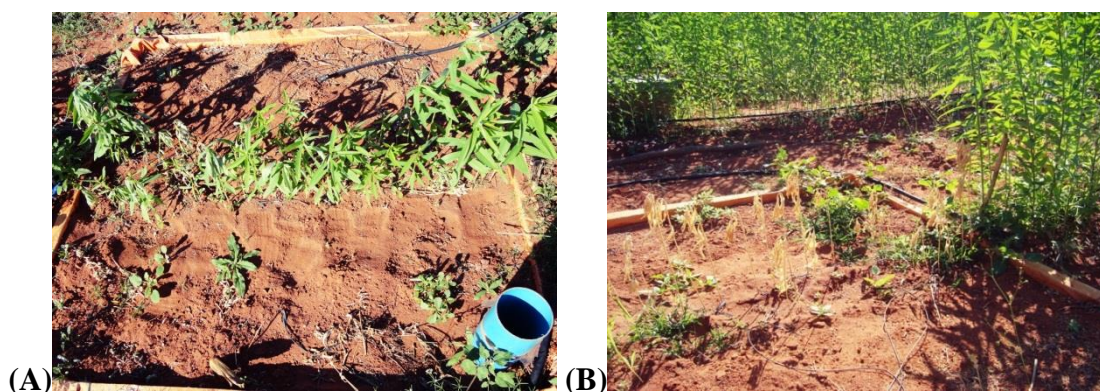


Figura 1. Plantas de *Crotalaria juncea* L. afetadas por fusarium em um Lisímetro pesagem (S5). Mossoró-RN, 2014

### 2.3 Estimativa da ETo horária e diária (equação de Penman-Monteith-FAO)

A ETo foi determinada pela metodologia proposta por Allen et al., (2006), (equação 1), para fins de padronização dos procedimentos de cálculos, pela Equação Penman-Monteith - FAO. As variáveis meteorológicas foram obtidas por meio de estação climatológica automática instalada no local do experimento, constituída por um datalogger (CR10X da Campbell Scientific), para aquisição dos dados medidos, contendo sensores de temperatura do ar e do solo, umidade relativa do ar, velocidade do vento a dois metros de altura, radiação global e precipitação pluviométrica.

$$ET_o = \frac{0,408\Delta(Rn - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} V_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34V_2)} \quad (1)$$

Em que:

ETo - evapotranspiração de referência, mm dia<sup>-1</sup>;

Rn - saldo de radiação na superfície da cultura, MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>;

G - densidade de fluxo de calor no solo, MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>;

T - temperatura média do ar a 2 m de altura, °C;  
V<sub>2</sub> - velocidade do vento a 2 m de altura, m s<sup>-1</sup>;  
e<sub>s</sub> - pressão de saturação de vapor, kPa;  
e<sub>a</sub> - pressão real de vapor, kPa;  
e<sub>s</sub> - e<sub>a</sub> - déficit de saturação do vapor, kPa;  
Δ - declividade da curva de pressão de vapor, kPa °C<sup>-1</sup>;  
γ - parâmetro psicrométrico, kPa °C<sup>-1</sup>.

Todos esses sensores estavam ligados a um datalogger (CR1000, Campbell Sci. Inc.) no qual as leituras foram computadas a cada hora e armazenadas. Assim, para o cálculo da ETo foram feitas leituras de temperatura e de umidade relativa do ar médias, máximas absolutas e mínimas absolutas; média da velocidade do vento; soma diária da radiação global e precipitação pluviométrica.

## **2.4 Determinação da ETc**

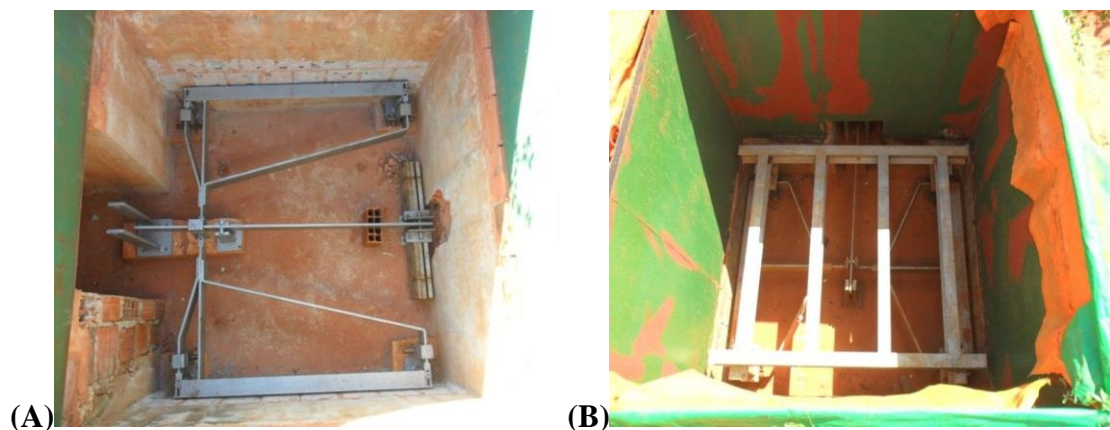
Para a determinação da evapotranspiração da cultura (ETc) foram utilizados quatro lisímetros (Lis 1, Lis 2, Lis 3 e Lis 4) de pesagem, tomados 2 a 2. Os lisímetros 1 e 2, com células de carga instaladas no braço de apoio das balanças mecânicas funcionando a uma proporção de 1:100, tinham uma variação de peso de 100 kg, onde a célula de carga registrará um peso de 1 kg. Já para os Lisímetros 3 e 4, com células de carga funcionando a uma proporção de 1:50 com contrapesos instalados ligado ao braço de apoio das balanças mecânicas, ocorreu um aumento na sensibilidade da célula de carga para uma proporção de 1:100. Os lisímetros foram instalados em posições estratégicas para minimizar os efeitos da advecção provocada pela área circundante do experimento.

Os lisímetros possuíam dimensões de 1,5 m x 1,5 m (2,25 m<sup>2</sup> de área) e 1,0 m de profundidade, constituídos de chapa de aço de 1/8", com uma saída para drenagem localizada no fundo, e uma outra acima da caixa por meio de uma tubulação de PVC, caso houvesse entupimento na drenagem do fundo do recipiente. A caixa interna de aço foi instalada em cima de uma balança mecânica que apresenta um sistema de alavancas com braço de apoio ligado as células de carga para medida dos pesos. As células de carga utilizadas foram da Alfa Instrumentos modelos SV50 (com capacidade nominal de 50 kg, sensibilidade de 2 +/- 0,2 mV/V e temperatura de trabalho útil de (-5 a 60° C))

e SV100 (com capacidade nominal de 100 kg, sensibilidade de 2 +/- 0,2 mV/V e temperatura de trabalho útil de (-5 a 60° C)). Externamente a esta caixa, foi instalada uma outra caixa constituída do mesmo material da primeira, assentada numa laje de concreto de 15 cm de espessura, ficando espaçada da caixa interna aproximadamente 5,0 cm.

Os lisímetros foram preenchidos com material de solo da própria área, escavados em camadas de 25 cm de profundidade, totalizando quatro camadas (100cm) que foram separadas em camadas de (0-0,25, 0,25-0,50, 0,50-0,75 e 0,75-1,00m) que posteriormente foram recolocadas na mesma ordem que foi retirada, mantendo assim a mesma sequência de horizontes do solo original. Antes de preencher as caixas com o solo em suas respectivas profundidades, foi colocada uma camada de 7-8 cm de brita nº 1 e acima da brita uma manta de poliéster (Bidin), com a finalidade de auxiliar na drenagem da água e evitar entupimentos do orifício no fundo da caixa. Nesse orifício foi feito um revestimento com um pedaço de tela sendo fixado com a brita. Uma tubulação de 125 mm de diâmetro nominal foi instalada ao lado do orifício para auxiliar na drenagem por cima da caixa por meio do auxílio de uma minibomba, em caso de necessidade.

A calibração dos lisímetros foi realizada com o objetivo de estabelecer a conversão da leitura feita pelo datalogger, em milivolts (mV), para massa (kg). Para isto, foi realizada a adição unitária e sucessiva, e posterior subtração, de massas-padrão – (0, 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18 e 20 kg), sobre a superfície dos lisímetros, efetuando-se simultaneamente as medições com leituras correspondentes no sistema de aquisição de dados. Como a área do lisímetro era de 2,25 m<sup>2</sup> (1,5 x 1,5m), cada quilograma colocado correspondia a 0,44mm de água. A sequência para montagem dos lisímetros é mostrada na figura 2.



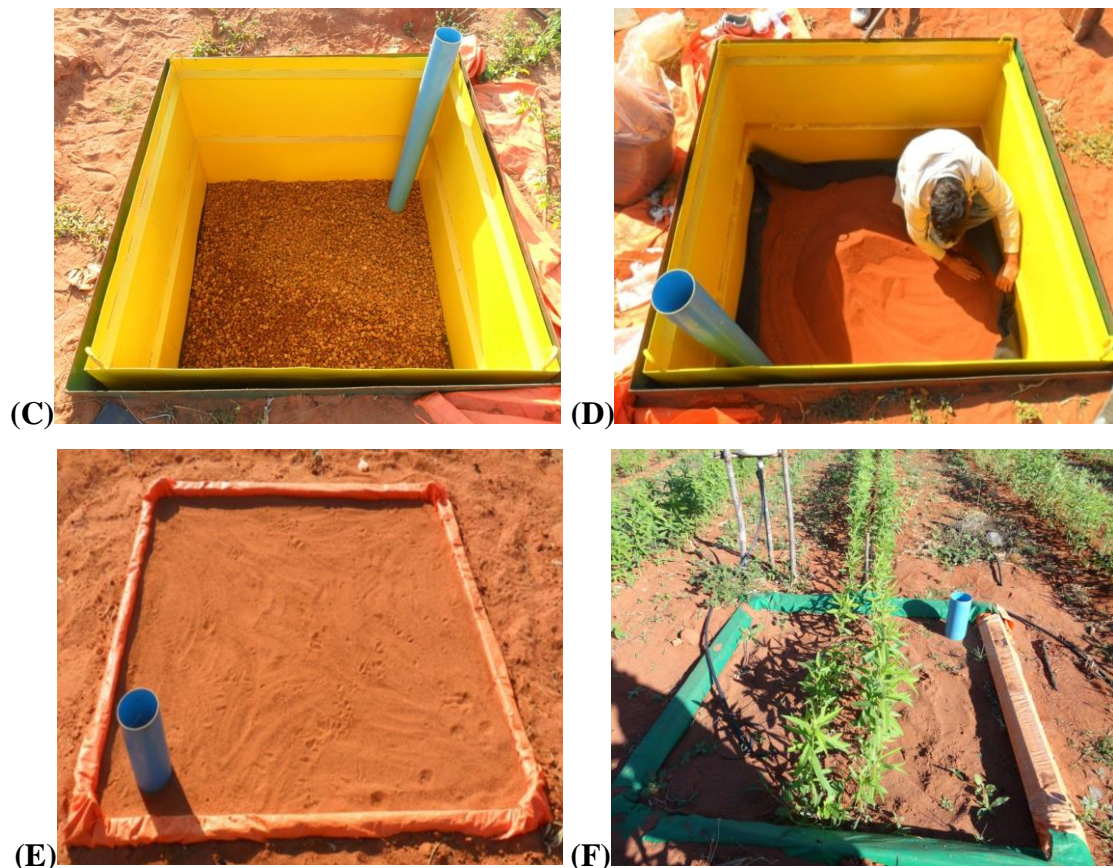


Figura 2. Processo de instalação dos lisímetros de pesagem, (A e B) instalação das balanças mecânicas; (C e D) Instalação da caixa metálica; (E) preenchimento dos lisímetros; (F) disposição do lisímetro em campo com a *Crotalaria juncea* L. Mossoró/RN, 2014

## 2.5 Coeficiente de cultura (Kc)

A determinação do Kc foi realizada por meio do quociente entre a ETC e a ETO, como representado na equação 22:

$$Kc = \frac{ETc}{ETo} \quad (22)$$

Levando em consideração que o melhor horário para determinação da ETc diária por meio dos lisímetros será de 5h às 18h, a ETo diária também teve que ser ajustada para o mesmo horário para determinação do Kc.

## 2.6 Análise da fração de superfície do solo umedecida por irrigação e fator de cobertura

Foram realizadas coletas de dados de crescimento selecionando 20 plantas em cada lisímetro. As plantas foram medidas aleatoriamente para avaliar o fator de cobertura, e o fator de molhamento foi realizado medindo a superfície molhada pela irrigação (Figura 3). Os dados foram coletados semanalmente, aos 28, 35, 42, 49 e 56 DAS, durante a experimentação de campo, usando régua graduada e trena métrica, e dividindo o valor obtido por 200 cm, equivalente ao espaçamento das fileiras de plantio.



Figura 3. Avaliação dos fatores de cobertura (A) e de molhamento (B) nos lisímetros de pesagem. Mossoró, 2014

## 2.7 Análise estatística

A análise das variáveis avaliadas foi feita utilizando as médias dos dados meteorológicos obtidos, e as médias dos kc's até o estágio de florescimento da cultura obtido pelos lisímetros, utilizando o programa Excel 2010.



### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As condições climáticas utilizadas para determinação da demanda evapotranspirativa pode ser observada através dos dados meteorológicos obtidos da estação climatológica automática utilizada durante a presença da cultura em campo. A obtenção destes dados permitiu tornar a determinação dos coeficientes de cultivos (Kc's) os mais reais possíveis para a cultura submetida àquelas condições experimentais, bem como a maior exatidão da estimativa da evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) descrita por Penman-Monteith-FAO 56 (Allen et al., 2006).

A variação da temperatura média, máxima e mínima durante o período de condução do experimento é expressa na Figura 4. A temperatura média diária variou de 24,45 a 27,87 °C, com média absoluta de 26,39 °C, sendo inferior a temperatura média da região de 27,4 °C mencionada por Carmo Filho e Oliveira (1989), Para a temperatura máxima, os valores variaram entre 28,96 e 35,36 °C, com média de 33,89 °C. Já para a temperatura mínima verificou-se variação de 17,29 a 24,28 °C, apresentando uma média de 20,89 °C. No entanto, estes valores apresentaram-se acima do normal para os meses do ano em que o estudo foi realizado, quando comparado aos anos anteriores, o que se deve ao maior período seco no ano de 2012.

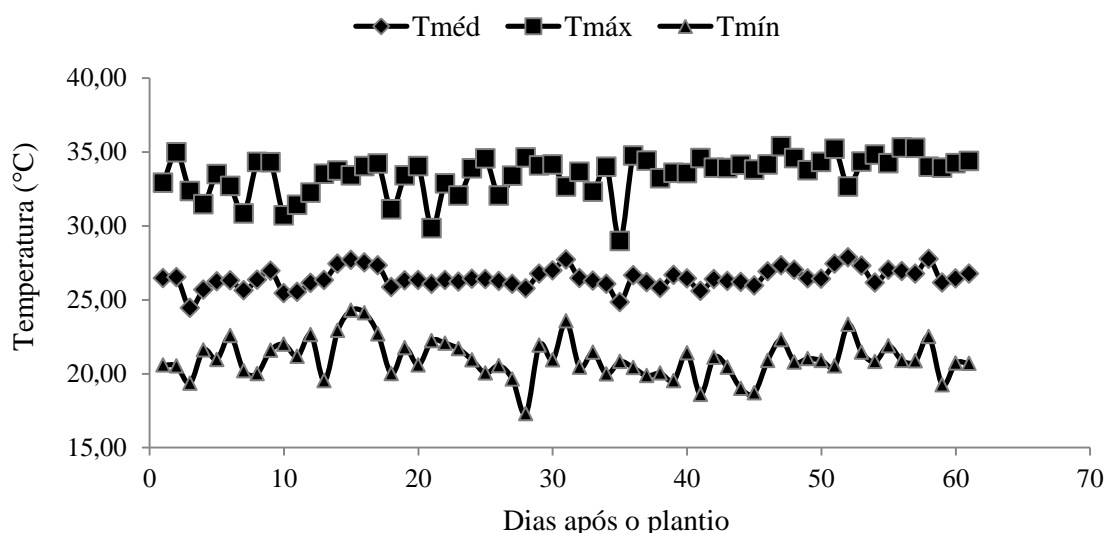


Figura 4. Temperaturas do ar média (T<sub>méd</sub>), máxima (T<sub>máx</sub>) e mínima (T<sub>mín</sub>), encontradas durante o ciclo da *Crotalaria juncea* L., Mossoró, 2014

Santos et al. (2013) e Lima (2013) em experimentos realizados na mesma área experimental encontraram resultados semelhantes para temperatura máxima (33,56 e 33,32 °C), porém, superiores para a temperatura mínima (22,44 e 22,4 °C), respectivamente. As maiores variações de temperaturas obtidas por estes autores podem estar relacionadas aos últimos meses do ano, quando ocorrem as maiores temperaturas.

Os valores da umidade relativa do ar encontrados para as condições climáticas do cultivo da crotalária juncea apresentaram umidade relativa média com amplitude de 44,54 a 71,78%, com média absoluta de 56,58%; médias de umidades máximas atingindo 80,45% e as mínimas de 27,94% (Figura 5). A umidade média obtida neste trabalho foi bem inferior às relatadas por Carmo Filho e Oliveira (1989) para região (68,9%), bem como às obtidas por Figueirêdo et al. (2009) e Almeida (2012) no mesmo local de implantação do experimento, com valores de 76 e 65%, respectivamente. Estes resultados respondem principalmente ao ano seco, onde choveu menos de 200 mm. Observa-se que as variações entre temperatura e umidade relativa do ar ocorrem simultâneas e inversamente proporcionais. Melo et al. (2011) menciona que à medida que a temperatura do ar decresce numa mesma umidade absoluta, haverá aumento na umidade relativa e queda na evaporação, resultando assim na redução da evapotranspiração da cultura.

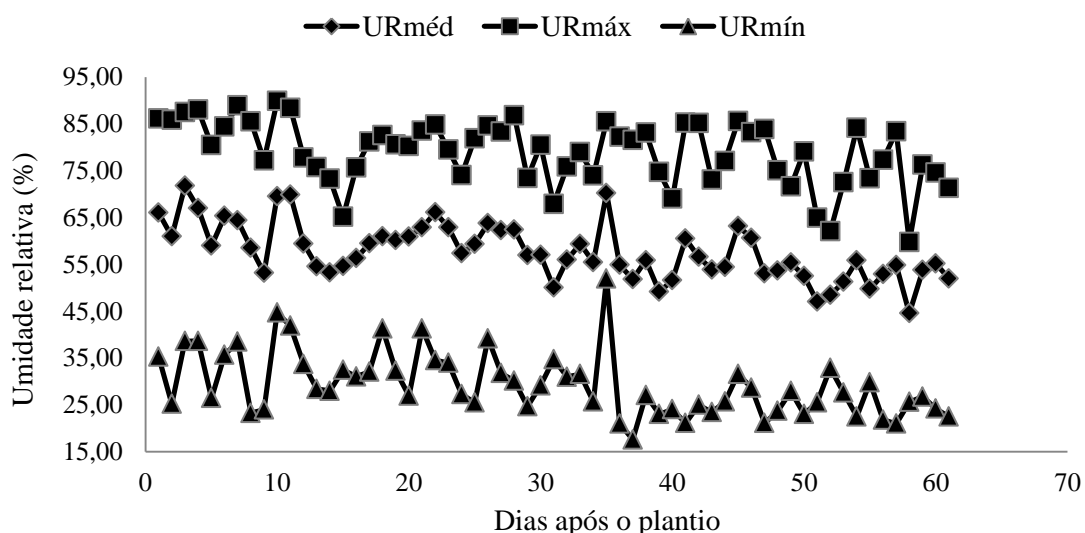


Figura 5. Umidades Relativas Médias (URméd), máximas (URmáx) e mínimas (URmín), encontradas durante o ciclo da *Crotalaria juncea* L., Mossoró, 2014

Na Figura 6 podem ser observados os valores encontrados para a radiação solar global e velocidade do vento. Foram obtidos valores de radiação global variando de

8,78 a 25,07 MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>, com média de 21,87 MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>, caracterizando um ambiente de grande potencial de transpiração da planta, conforme Almeida (2012). Para a velocidade média do vento foi encontrada média de 1,82 m s<sup>-1</sup> com valores diários variando entre 0,64 e 2,36 m s<sup>-1</sup>, corroborando com o mesmo autor supracitado, em trabalho com milho na mesma época do ano, encontrando valores de mínima e máxima de 0,7 a 2,2 m s<sup>-2</sup> respectivamente. Figueirêdo et al. (2009) menciona que a elevada radiação encontrada contribuiu, principalmente, para o processo de evapotranspiração, pois como a superfície do solo estava sempre umedecida, os processos de aquecimento do solo e do ar podem ser também desprezados. Ainda, o autor relata que, normalmente, quando a velocidade do vento é menor, a radiação global também tende a diminuir, inferindo-se isso à provável “saída” de calor do sistema ser menos intensa, o que não corrobora com os dados encontrados nesta pesquisa.

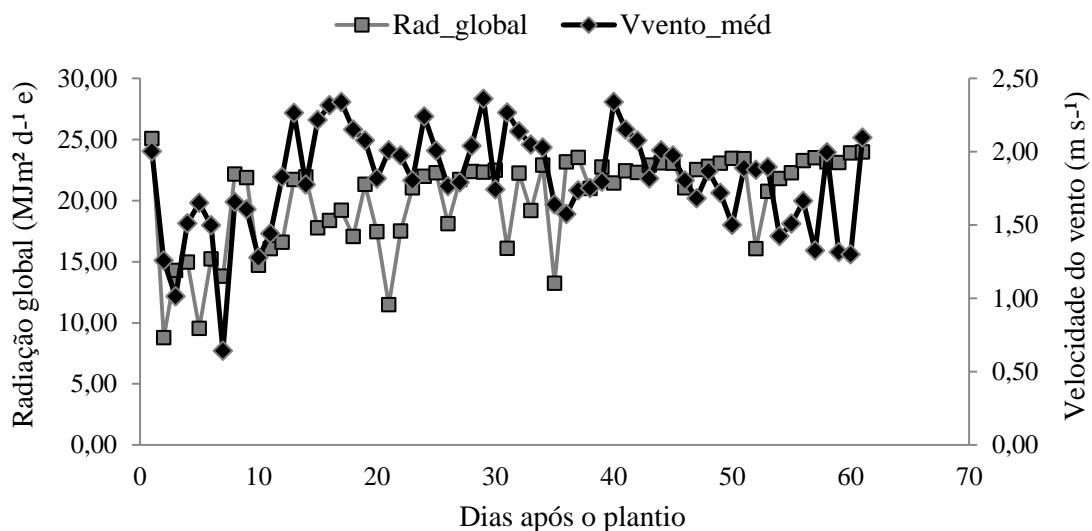


Figura 6. Velocidade do vento média e radiação global encontrados durante o ciclo da *Crotalaria juncea* L., Mossoró, 2014

Em experimento com milho irrigado na mesma área experimental, Santos (2012) verificou umidade relativa média de 61,90%, onde a máxima foi de 89,19%, e a mínima de 23,66%. A velocidade média do vento variou em torno de 1,11 m s<sup>-1</sup> e 3,48 m s<sup>-1</sup>, com média em torno de 2,56 m s<sup>-1</sup>, a máxima 7,34 m s<sup>-1</sup> e a mínima de 0,04 m s<sup>-1</sup>.

Lima (2013) trabalhando com abóbora na mesma área experimental verificou umidade relativa média de 61,41%, a máxima de 79,73% e a mínima de 34,71%. A velocidade média ficou em torno de 3,00 m s<sup>-1</sup> e a radiação global 20,89 MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>. As variações entre estes resultados podem ser explicadas devido à diferença entre os

períodos de cultivo, evidenciando que as condições climáticas apresentaram-se diferentes.

As médias semanais do fator de cobertura e de molhamento por área de cada lisímetro, foram obtidas semanalmente no período dos 28 aos 56 DAS até a cultura atingir o florescimento pleno (Tabela 1). Os resultados para o fator de cobertura apresentaram variações durante todas as avaliações semanais e para todos os lisímetros. Aos 56 DAS o LIS 2 apresentou maior área coberta pela planta com 0,52 cm, enquanto que os LIS 3 e 1 apresentaram 0,48 e 0,46 cm, respectivamente. A morte das plantas do LIS 4 aos 35 DAS, por fusarium, impossibilitou as. A grande variação entre as avaliações podem estar associadas à alternância entre plantas medidas, uma vez que as mesmas eram escolhidas aleatoriamente a cada semana. Segundo Sedyama et al. (1998), durante o período vegetativo, o valor da fração de cobertura da superfície do solo pela vegetação varia à medida que as plantas envelhecem e atingem a maturação, do mesmo modo que o Kc varia à medida que a cultura cresce e desenvolve.

O fator de molhamento, que representa a área molhada pelo sistema de irrigação, também apresentou medidas com valores próximos entre si nas avaliações, aumentando proporcionalmente a cada semana avaliada até os 56 DAS, atingindo médias que variaram de 0,13 a 0,16 cm, na última avaliação (Tabela 1).

Tabela 1. Fator de cobertura e de molhamento médio em (cm) avaliados semanalmente até o florescimento pleno da *Crotalária juncea* L.

	28 DAS	35 DAS	42 DAS	49 DAS	56 DAS
Fator de cobertura (cm)					
LIS 1	0,11	0,13	0,30	0,33	0,46
LIS 2	0,09	0,12	0,38	0,45	0,52
LIS 3	0,09	0,13	0,33	0,43	0,48
LIS 4	0,11	-	-	-	-
Fator de molhamento (cm)					
LIS 1	0,07	0,10	0,12	0,14	0,14
LIS 2	0,07	0,13	0,13	0,15	0,16
LIS 3	0,06	0,12	0,14	0,17	0,15
LIS 4	0,07	0,14	0,14	0,15	0,13

Fonte: Dados obtidos através da pesquisa. LIS: Lisímetro; DAS: Dias Após a Semeadura.

Durante o experimento, em período seco do ano e sem precipitação pluviométrica, foram calculados valores de ETo para a crotalária juncea utilizando o

método da FAO, encontrando-se variações entre 3,03 e 7,02 mm dia<sup>-1</sup>, e valor médio de 5,33 mm dia<sup>-1</sup>. Em trabalhos realizados na mesma área experimental, Melo et al. (2011) encontrou valores variando entre 4,84 e 7,32 mm dia<sup>-1</sup> quando cultivou melão Gália; Santos et al. (2013) obteve dados de ETo entre 3,07 e 5,45 mm dia<sup>-1</sup> para a cultura do milho e; Lima (2013) encontrou variações entre 5,02 e 7,45 mm dia<sup>-1</sup> em estudos com abóbora. Entretanto, essas variações ocorrem, principalmente, dependendo da época do ano e quando este é chuvoso ou não.

A evapotranspiração da cultura obtida por lisimetria para os níveis de salinidade residual S1 (ETc\_S1), nos LIS 2 e 3, e S5 (ETc\_S5) no LIS 1, bem como a evapotranspiração de referência pelo método da FAO (ETo\_FAO) durante o cultivo da crotalaria juncea são observados na Figura 7. Lima (2013) ressalta que a utilização das formulações da equação de Penman-Monteith para o cálculo da ETo, por se tratar de fórmulas empíricas, pode levar a superestimativas ou subestimativas apesar de sua forte base física. Segundo Allen et al., (1998) a evapotranspiração da cultura (ETc) é dependente do conhecimento da evapotranspiração de referência (ETo), que diz respeito às condições climáticas do local de interesse, conjuntamente com as características fisiológicas e morfológicas da cultura, representadas por meio do seu coeficiente de cultura (Kc).

Observa-se que a ETc nos dois níveis de salinidade no início do cultivo foram próximas, porém o resíduo salino S5 apresentou valores menores com maiores variações no início, e estabilizando junto ao nível S1 até em torno de 22 DAP, período referente ao final da primeira fase da cultura. As principais perdas nos primeiros dias do ciclo devem-se, principalmente, a evaporação do solo, justificada pela reduzida parte vegetativa, resultando assim numa pequena perda por transpiração, e pelo fato da salinidade inibir o crescimento na fase inicial, aumentando o ciclo. Almeida (2012) avaliando a evapotranspiração do milho sob efeito residual de níveis de salinidade verificou que as maiores perdas no nível S5 ocorreu na primeira fase e decresceu no final do ciclo, quando comparada ao nível S1.

Aproximadamente aos 23 DAP, na segunda fase, verifica-se que no nível de menor salinidade residual (S1) os valores da evapotranspiração da cultura seguiram uma variação crescente até o final do ciclo, seguida por valores inferiores para a ETc obtida no tratamento de maior salinidade (S5). Enquanto que, aproximadamente aos 40 DAS, na terceira fase, correspondente ao período de floração, os dois níveis atingiram valores próximos ao final das avaliações quando a cultura estava em florescimento pleno.

O bom crescimento da cultura nos lisímetros com a salinidade S1 proporcionou maiores valores de evapotranspiração até os últimos dias de cultivo, dada a presença maior de material vegetal, o que não ocorreu com a salinidade S5 que apresentou valores inferiores durante o cultivo, que pode ser justificado pelo efeito residual do nível salino, bem como, pela redução do matéria vegetal neste lisímetro, o que diminuiu a evapotranspiração. Medeiros et al. (2003) e Figueirêdo et al. (2009) mostraram redução na evapotranspiração em estudos com diferentes culturas de interesse agrônômico respondendo à salinidade.

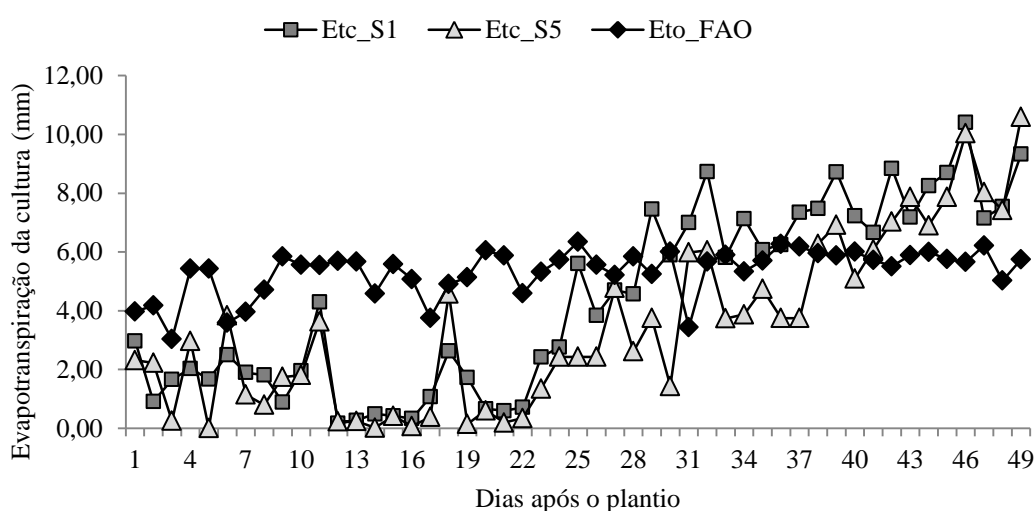


Figura 7. Evapotranspiração da *Crotalaria juncea* L. no nível de salinidade S1 (ETc\_S1) e no nível S5 (ETc\_S5), e de referência (ETo\_FAO). Mossoró, 2014.

Em trabalhos de Melo et al. (2011) com melão irrigado com água salina em diferentes níveis, a ETc ao nível de salinidade 4,5 dS m<sup>-1</sup> tendeu a ser maior até os 37 dias após o transplântio (DAT) justificando-se pelo fator de cobertura das plantas neste período, onde se verificou que as plantas no nível de salinidade S5 tenderam a ser sempre maiores nesse intervalo. Após os 40 DAT, as plantas do nível S1 já se apresentavam com maior cobertura, e, portanto, maior transpiração.

Durante o cultivo da leguminosa até atingir o florescimento pleno, aos 56 DAS, a ETc obtida foi de 225,89 e 183,93 mm para os tratamentos S1 e S5, respectivamente. Essa redução na lâmina evapotranspirativa entre os níveis salinos pode ser explicada pela baixa disponibilidade da água para a cultura pela presença de resíduo de salinidade do solo, bem como, pela redução do material vegetal no lisímetro correspondente à salinidade S5, o que reduziu a transpiração das plantas. No entanto, apesar do menor

desempenho da crotalária juncea quanto ao nível S5, esta mostrou-se tolerante ao cultivo sob salinidade residual. Figueirêdo (2008) encontrou resultados semelhantes em trabalhos com evapotranspiração no melão, verificando uma redução de 289,7 para 216,5 mm nos níveis S1= 0,55 e S5= 4,5 dS m<sup>-1</sup>. Melo et al. (2011), também determinando a evapotranspiração no melão, encontrou valores da ETc variando de 204,5 a 172,4 mm, para S1= 0,65 e S = 4,73 dS m<sup>-1</sup>. Em trabalhos de Silva (2010) com melancia, verificou-se valores de ETc iguais a 336,86 mm (S1) e 220,45 mm (S5) em resposta aos níveis salinos de 0,57 e 4,91 dS m<sup>-1</sup>, respectivamente.

Entre os valores de Kc's encontrados para cada tratamento residual, verificou-se que o tratamento S1 foi superior ao S5 (Figuras 8 e 9). Na fase inicial observa-se valores próximos e com pequenas perdas por transpiração, porém com grandes variações até os 19 DAP, o que se deve à superfície pouco vegetada e ao baixo consumo de água pela planta, onde as perdas por evaporação são maiores que a transpiração da cultura. Em torno dos 23 DAP, maiores variações entre os Kc's foram ocorrendo em resposta à necessidade de irrigação para a cultura, correspondendo esse período à segunda fase da leguminosa. No período de maior demanda de água pela planta, ocorrida a partir dos 38 DAP na fase de florescimento onde ocorre maior transpiração, houve os maiores valores de Kc's para os dois níveis salinos, sendo que o consumo de água pela planta diminuiu conforme maior nível de salinidade residual.

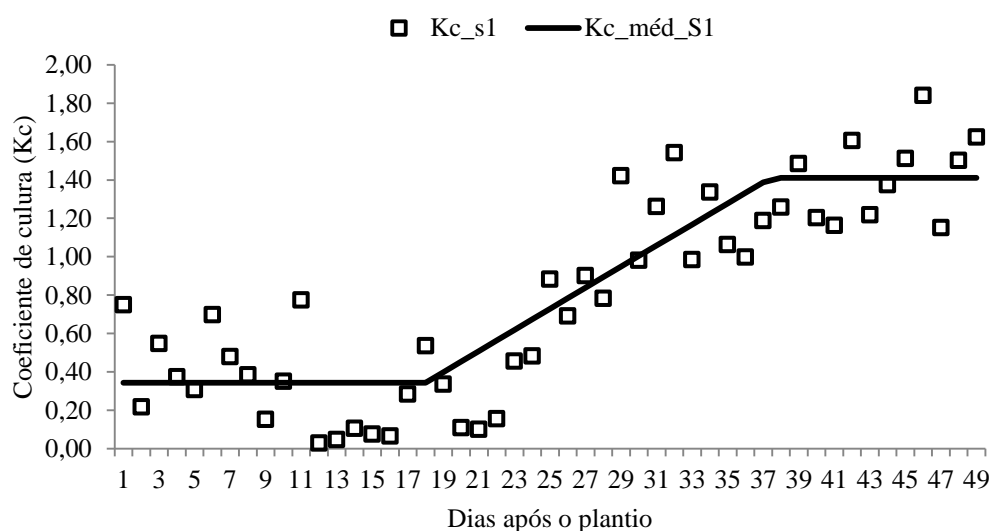


Figura 8. Coeficiente de cultura médio da *Crotalária juncea* L. do nível de salinidade S1. Mossoró, 2014.

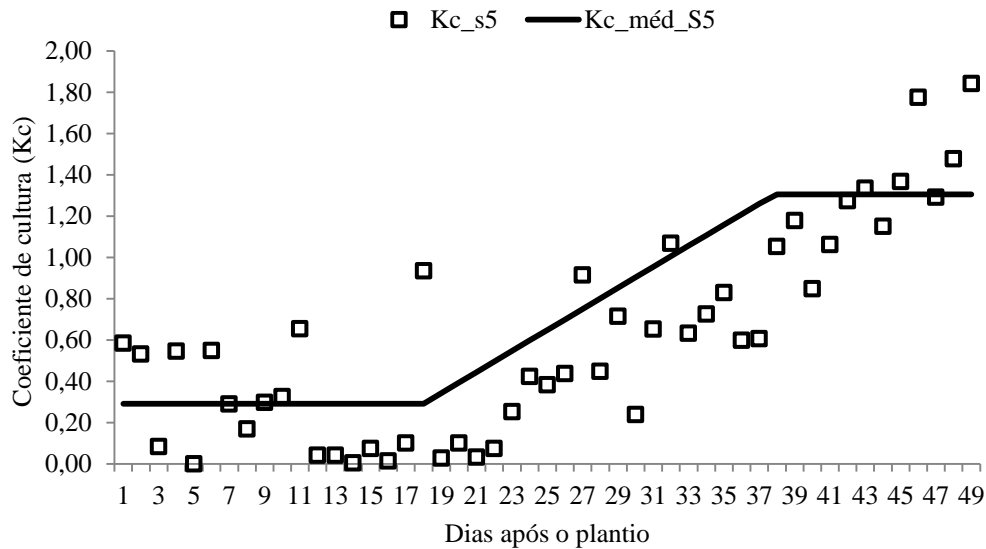


Figura 9. Coeficiente de cultura médio da *Crotalaria juncea* L. do nível de salinidade S5. Mossoró, 2014.

Os valores médios encontrados para os Kc's da crotalaria juncea nos três períodos avaliados são expressos na Tabela 2. Verifica-se que as médias dos Kc's encontrados para cada fase nos dois tratamentos diferiram entre si, sendo os valores obtidos com o tratamento S1 sempre superiores aos do tratamento S5, com exceção apenas para os Kc's médios da fase inicial onde o nível S5 apresentou-se superior. Os tratamentos S1= 0,34 e S5= 0,29 confirmam que o consumo de água pela crotalaria juncea é realmente menor no estágio inicial, onde as perdas por evaporação são maiores que a transpiração da cultura. No estágio de desenvolvimento e floração, os valores aumentaram conforme consumo de água pela cultura, sendo superiores para o Kc S1, onde representa o menor nível residual de salinidade.

Tabela 2. Valores de Kc (Kc S1, Kc S5) e Kc (Kc S1\_méd, Kc S5\_méd) médio por estágio fenológico da *Crotalaria juncea* L.

Fases	Período – Dias		Kc S1	Kc S1_méd	Kc S5	Kc S5_méd
	S1	S5				
Inicial	18	18	0,34	0,34	0,29	0,29
Desenvolvimento	18	18	0,82	0,89	0,48	0,80
Floração	14	14	1,41	1,41	1,31	1,31

Fonte: dados obtidos na pesquisa.

Esses resultados corroboram com os obtidos por Almeida (2012) avaliando efeito residual salino em milho, e Lima (2013) testando níveis de salinidade em abóbora, confirmando que, durante o ciclo da cultura, o consumo de água foi realmente



menor quando se utilizou a água de maior salinidade. Silva et al. (2006) relata que a diferença dos valores de Kc's também pode variar quanto à disponibilidade energética do local, tipo de solo, variedade e idade da planta.

Os intervalos de confiança com 95% de probabilidade para cada estágio fenológico pelos lisímetros estão apresentados na Tabela 3. Os valores estimados para o limite inferior e o limite superior indicam que a média dos Kc's para as fases inicial e floração da população, com 95% de probabilidade de confiança, deve estar neste intervalo para os lisímetros. O intervalo de confiança para os kc's determinados pelos lisímetros apresentaram valores inferiores para a fase I e superiores na fase III, quando comparados aos valores determinados por Santos et al. (2013) em cada uma destas fases fenológicas com a cultura do milho utilizando lisímetros de pesagem, em Mossoró, RN.

Tabela 3. Intervalo de confiança para a média dos kc's pelos lisímetros em cada estágio fenológico da *Crotalaria juncea* L.

Fases	Período - Dias	LIS S1	LIS S5
Inicial	18	$P(0,22 \leq \mu \leq 0,46) = 0,95$	$P(0,16 \leq \mu \leq 0,48) = 0,95$
Desenvolvimento	18	-	-
Floração	14	$P(1,27 \leq \mu \leq 1,55) = 0,95$	$P(1,13 \leq \mu \leq 1,49) = 0,95$

Fonte: dados obtidos na pesquisa.

#### **4 CONCLUSÕES**

As ETC's durante todo o ciclo apresentaram valores de 225,89 e 183,93 mm, onde o nível residual S1 foi superior 17,07% em relação ao tratamento residual S5;

A crotalaria juncea apresentou maior consumo de água para o nível de salinidade residual S1 em todas as fases, embora o consumo no nível S5 tenha sido próximo aos obtidos pelo menor resíduo, denotando tolerância da leguminosa ao longo do cultivo;

Os valores de Kc's obtidos nas três fases pelos dois lisímetros foram: 0,34; 0,87 e 1,41 (S1), e 0,32; 0,54 e 1,31 (S5), para a crotalaria juncea sob efeito residual de salinidade.

## LITERATURA CITADA

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH. **Evapotranspiration del cultivo: guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos**. Roma: FAO, 2006, 298p. (FAO, Estudio Riego e Drenaje Paper, 56).

ALLEN, R. G.; WRIGHT, J. L.; PRUITT, W. O.; PEREIRA, L. S.; JENSEN, M. E. Water Requirements, In: HOFFMAN, J. H.; EVANS, R. G.; JENSEN, M. E.; MARTIN, D. L.; ELLIOT, R. R. **Design and operation of farm irrigation systems**, St. Joseph: ASABE, p. 207-288, 2007.

ALLEN, R.G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration – Guidelines for computing crop water requirements**, Roma: FAO, 1998, 300p, (FAO Irrigation and Drainage Paper, 56)

ALMEIDA, B. M. **Evapotranspiração, coeficiente de cultura e produção do milho sob condições de salinidade residual**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, RN, 2012, 82f.

BERGAMASCHI, H.; DALMAGO, G.A.; BERGONCI, J.I.; BIANCHI, C.A.M.; MULLER, A.G.; COMIRAN, F.; HECKLER, B.M.M. Distribuição hídrica no período crítico do milho e produção de grãos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.39, n.9, p.831- 839, 2004.

CARVALHO, D. F.; SILVA, L. D. B.; GUERRA, J. G. M.; CRUZ, F. A.; SOUZA, A. P. Instalação, calibração e funcionamento de um lisímetro de pesagem. **Engenharia Agrícola**, v.27, n.2, p.363- 372, 2007.

FIGUEIRÊDO, V. B. **Evapotranspiração, crescimento e produção damelancia e melão irrigados com águas de diferentes salinidades**. Tese (Doutorado), Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, SP, 104f. 2008.

FIGUEIRÊDO, V. B.; MEDEIROS, J. F.; ZOCOLER, J. L.; ESPINOLA SOBRINHO, J. Evapotranspiração da cultura da melancia irrigada com água de diferentes salinidades. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 29, n. 2, p. 172-338, abr./jun. 2009.

HEINEMANN, A.B.; SOUSA, S.A.V.; FRIZZONE, J.A. Determinação da lâmina ótima de água para cultura do milho doce na região de Sete Lagoas, MG. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.5, n.1, p.147-151, 2001.

LIMA, R. M. S. Evapotranspiração e produção da abóbora cultivar bárbaba sob diferentes níveis de salinidade e de adubação nitrogenada. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem). Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2013, 86 f.

MEDEIROS, J. F. **Manejo da água de irrigação salina em estufa cultivada com pimentão**. Piracicaba, 1998, 152p. Tese (Doutorado em Agronomia/Irrigação e Drenagem) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP, 1998.

MEDEIROS, A. T.; SENTELHAS, P. C.; LIMA, R. N. Estimativa da evapotranspiração de referência a partir da equação de Penman-Monteith, de medidas lisimétricas e de equações empíricas, em Paraipaba, CE. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.23, n.1, p.31-40, 2003.

MELO, T. K.; MEDEIROS, J. F.; ESPÍNOLA SOBRINHO, J.; FIGUEIRÊDO, V. B.; PEREIRA, V. C.; CAMPOS, M. S. Evapotranspiração e produção do melão Gália irrigado com água de diferentes salinidades e adubação nitrogenada. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, UAEEA/UFCG, v.15, n.12, p.1235–1242, 2011.

SANS, L.M.A.; ASSAD, E.D.; GUIMARÃES, D.P.; AVELLAR, G. Zoneamento de riscos climáticos para a cultura do milho na região Centro-Oeste do Brasil e para o estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.9, n.3, p.527-535, 2001.

SANTOS A. O.; MAZIERO, J. V. G.; CAVALLI, A. C.; VALERIANO, M. M.; OLIVEIRA, H.; SANTOS, F. X.; RODRIGUES, J. V.; MONTENEGRO, A. A. A.; MOURA, R. F. Desempenho de lisímetro de pesagem hidráulica de baixo custo no Semi-Árido Nordeste. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.28, n.1, p.115-124, 2008.

SANTOS, W. O. **Necessidades hídricas, desenvolvimento e análise econômica da cultura do milho nas condições do semiárido brasileiro**. 2012. 105 f. Dissertação (Mestrado) - UFERSA, Mossoró - RN, 2012.

SANTOS, W. O.; NUNES, R. L. C.; GALVÃO, D. C.; PEREIRA, G. C.; MANIÇOBA, R. M.; LIMA, J. G. A.; VIANA, P. C. Evapotranspiração da cultura do milho verde, análise estatística. **Agropecuária Científica No Semiárido**, Patos, UFCG, V. 9, n. 1, p. 75-81, jan - mar, 2013.

SEDIYAMA, C. G.; RIBEIRO, A.; LEAL, B. G. Relações clima – água – planta. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 27., 1998, Poços de Caldas. **Simpósio...** Poços de Caldas-MG: UFLA/SBEA, 1998. p. 46-85.

SILVA, L. D. B. **Evapotranspiração do capim tanzânia (*Panicum maximum* Jacq) e grama-batatais (*Paspalum notatum* Flugge) utilizando o método do balanço de energia e lisímetro de pesagem**. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) – Escola Superior "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003. 93 f.

SILVA, C. R.; ALVES JÚNIOR, J.; SILVA, T. J. A.; FOLEGATTI, M. V.; CAMPECHE, L. F. S. M. Variação sazonal na evapotranspiração de plantas jovens de lima ácida 'Tahiti'. **Irriga**, v.11, n.1, p.26-35, 2006.

SILVA, T. O.; MENEZES, R. S. C. Adubação orgânica da batata com esterco e, ou, *Crotalaria juncea*. II – Disponibilidade de N, P e K no solo ao longo do ciclo de cultivo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, n. 1, p. 51-61, 2007.

SOUSA, G. M. M. **Adubação orgânica e densidades de plantas em crotalária juncea antecedendo arroz**. Dissertação (Mestrado em ciência do solo). Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2011.

## **ANEXOS**

Anexo I. Componentes do balanço hídrico nos lisímetros nos níveis de salinidades residuais S1e S5. Mossoró-RN, UFERSA 2014.

COMPONENTES DO BALANÇO HÍDRICO NOS LISÍMETROS – Etc = I + P – D – Δm													
Dia	ILis 1	ILis 2	ILis 3	ILis 4	P (mm)	D Lis 1	D Lis 2	D Lis 3	D Lis 4	Δm Lis 1	Δm Lis 2	Δm Lis 3	Δm Lis 4
29/6	2,2	2,2	2,2	2,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	11,95	18,67	9,15	12,73
30/6	2,2	2,2	2,2	2,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	11,67	5,71	9,72	13,08
01/7	2,2	2,2	2,2	2,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,76	11,33	8,63	13,21
02/7	2,2	2,2	2,2	2,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-3,91	-2,18	8,65	-2,61
03/7	2,2	2,2	2,2	2,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-13,57	-2,95	8,40	5,13
04/7	3,3	3,3	3,3	3,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-4,02	-6,89	8,14	-9,37
05/7	3,3	3,3	3,3	3,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,06	3,61	7,88	7,61
06/7	3,3	3,3	3,3	3,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,11	4,15	7,62	5,05
07/7	3,3	3,3	3,3	3,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	12,73	10,57	9,73	11,80
08/7	3,3	3,3	3,3	3,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,07	2,67	0,63	2,32
09/7	3,3	3,3	3,3	3,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-3,40	-6,74	-4,05	-4,25
10/7	3,3	3,3	3,3	3,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6,79	7,08	6,94	8,30
11/7	3,3	3,3	3,3	3,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6,78	7,07	6,31	8,56
12/7	3,3	3,3	3,3	3,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	7,44	9,29	6,38	5,80
13/7	3,3	3,3	3,3	3,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	8,74	4,97	7,50	7,36
14/7	3,3	3,3	3,3	3,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	7,72	8,26	8,72	10,73
15/7	3,3	3,3	3,3	3,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6,36	8,95	7,78	7,07
16/7	3,3	3,3	3,3	3,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-6,25	-3,32	-5,45	-4,03
17/7	3,3	3,3	3,3	3,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	7,93	2,09	5,87	8,46
18/7	3,3	3,3	3,3	3,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,68	7,01	4,03	6,75
19/7	3,3	3,3	3,3	3,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6,92	5,62	5,82	9,53
20/7	3,3	3,3	3,3	3,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6,47	7,47	3,27	9,82
21/7	3,3	3,3	3,3	3,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,45	-1,47	1,95	9,56
22/7	3,3	3,3	3,3	3,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,64	-3,94	2,37	9,63
23/7	3,3	3,3	3,3	3,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-9,39	-9,54	-9,05	-2,22
24/7	3,3	3,3	3,3	3,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,37	0,63	0,34	8,97
25/7	5,0	5,0	5,0	0,0	0,0	9,78	83,11	18,22	2,22	3,56	0,14	2,04	9,33
26/7	5,0	5,0	5,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,40	-0,01	1,67	9,78
27/7	5,0	5,0	5,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,23	-27,72	-8,18	-27,96
28/7	5,0	5,0	5,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6,94	0,20	1,21	6,74
29/7	5,0	5,0	5,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-6,70	-11,78	-7,71	5,18
30/7	5,0	5,0	5,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-6,90	-16,66	-13,23	-1,89
31/7	5,0	5,0	5,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,04	-7,06	-5,31	4,69
01/8	5,0	5,0	5,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,38	-14,51	-5,75	3,84
02/8	5,0	5,0	5,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-2,96	-8,92	-4,98	4,78
03/8	5,0	5,0	5,0	0,0	0,0	0,0	1,78	0,0	0,0	0,82	-12,86	-6,15	4,80
04/8	5,0	5,0	5,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,22	-14,03	-7,57	5,29
05/8	5,0	5,0	5,0	0,0	0,88	0,0	0,0	0,0	0,0	-6,68	-12,60	-8,02	-1,04
06/8	5,0	5,0	5,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-9,52	-14,88	-1,97	-2,82

07/8	5,0	5,0	5,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-4,04	-14,03	-6,81	0,53
08/8	5,0	5,0	5,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-7,00	-9,76	-7,71	-2,24
09/8	6,7	6,7	6,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-6,08	-13,19	-9,88	-2,03
10/8	6,7	6,7	6,7	0,0	0,0	0,0	26,22	16,00	0,0	-8,61	-13,17	-8,76	-2,09
11/8	6,7	6,7	6,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-5,71	-9,62	-9,88	-2,54
12/8	6,7	6,7	6,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-8,62	-11,43	-10,78	-3,64
13/8	6,7	6,7	6,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-15,13	-15,50	-16,96	-5,82
14/8	6,7	6,7	6,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-9,09	-2,53	-10,39	-2,13
15/8	6,7	6,7	6,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-7,28	-3,71	-11,54	-2,03
16/8	6,7	6,7	6,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-16,79	-6,43	-19,56	-1,45

I= Lâmina de irrigação (mm), P=Precipitação (mm), D=Drenagem (mm),  $\Delta m$ =Variação de massa do lisímetro (Mv).