

Robson A. Sousa¹

Claudivan F. Lacerda²

Joaquim Amaro Filho³

Fernando F. F. Hernandez⁴

Crescimento e nutrição mineral do feijão-de-corda em função da salinidade e da composição iônica da água de irrigação

RESUMO

As concentrações de sais que restringem o crescimento do feijão-de-corda variam e dependem, também, da composição iônica da água de irrigação. Objetivou-se, neste trabalho, avaliar os efeitos da salinidade e da composição química da água de irrigação sobre o crescimento vegetativo e a nutrição mineral em plantas de feijão-de-corda [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.] cv. Pitiúba. As plantas foram cultivadas em vasos contendo 22 kg de areia lavada, sob condições de casa de vegetação, e submetidas a quatro diferentes condutividades elétricas da água de irrigação (0,5, 1,5, 3,0 e 4,5 dS m⁻¹), obtidas com sais de NaCl, CaCl₂.2H₂O e MgCl₂.6H₂O (A1), com sais de Na₂SO₄, CaCl₂, MgCl₂, Na₂CO₃, NaHCO₃ (A2), ou somente com NaCl (A3). O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado e os tratamentos distribuídos em esquema fatorial 3 x 4, cujo primeiro fator foram os níveis de condutividade elétrica, e o segundo, as composições da água de irrigação, com 5 repetições e duas plantas por repetição. As plantas foram coletadas com 48 dias após o plantio, medindo-se a área foliar e as massas fresca e seca de folhas, caules e raízes. Determinaram-se, em laboratório, os teores de Na, Cl, K, Ca, P, Cu, Fe, Mn e Zn. A salinidade afetou a produção de biomassa e o crescimento foliar, tendo-se observado pequena influência da composição da água sobre essas variáveis, porém, a composição iônica da água de irrigação influenciou os teores de nutrientes minerais, especialmente os dos micronutrientes Fe, Cu e Mn.

Palavras-chave: *Vigna unguiculata*, estresse salino, água salina, tolerância à salinidade

Growth and mineral nutrition of cowpea as a function of salinity and chemical composition of irrigation water

ABSTRACT

The salt concentration that reduces cowpea growth depends on cultivars and is also affected by the chemical composition of irrigation water. The objective of this work was to evaluate the effect of salinity and chemical composition of irrigation water on plant growth and mineral nutrition of cowpea plants [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.]. Plants were cultivated in plastic pots, using 22 kg of soil in a greenhouse and subjected to four different salt concentrations (0.5, 1.5, 3.0, and 4.5 dS m⁻¹) in irrigation water. These different salt concentrations were obtained by adding NaCl, CaCl₂.2H₂O and MgCl₂.6H₂O (A1), a mixture of chloride, sulphate, carbonates, and bi-carbonates salts (A2), or alone NaCl (A3). A completely randomized design, in a factorial arrangement (3 x 4), with five replicates was adopted. Total leaf area and fresh and dry masses of leaves, stems and roots were measured 48 days after sowing. The contents of inorganic solutes (Na, Cl, K, Ca, P, Cu, Fe, Mn, and Zn) were also determined. The salinity of irrigation water caused reduction in the biomass production and in leaf growth, but effects of the chemical composition of water on these parameters were not observed. However, the ionic composition of irrigation water affected the contents of mineral nutrients, especially the contents of Fe, Cu and Mn.

Key words: *Vigna unguiculata*, salt stress, saline water, salt tolerance

¹ Universidade Federal do Ceará, Estudante de Doutorado/ESALQ

² Departamento de Engenharia Agrícola, Campus do Pici, Fortaleza, CE

³ Departamento de Ciências Ambientais, UFERSA, Mossoró, RN.

⁴ Departamento de Ciências do Solo, UFC, Bloco 807, Campus do Pici,

INTRODUÇÃO

Em todo o mundo, o uso intensivo de águas de boa qualidade tem acarretado, de forma crescente, a diminuição da sua disponibilidade para novos e antigos projetos de irrigação (Ayers & Westcot, 1999); além disso, a crescente necessidade não se refere apenas à expansão das áreas agrícolas mas, também, do uso de águas consideradas de qualidade inferior, bem como a reutilização de água de drenagem com elevados teores de sais e a utilização de espécies capazes de apresentar elevada rentabilidade quando irrigadas com esses tipos de água (Rhoades et al., 2000).

No Nordeste brasileiro, as águas utilizadas na irrigação apresentam, na maioria das vezes, concentração de sais na faixa de 1 a 30 mmol_c L⁻¹ correspondendo à faixa de condutividade elétrica de 0,1 a 3,0 dS m⁻¹ (Holanda & Amorim, 1997). Observam-se, além das variações na concentração de sais, grandes variações na composição química das águas, com predominância sobretudo nas áreas de cristalino, de águas cloretadas e sódicas com baixas concentrações de sulfato e concentrações variáveis de cálcio, magnésio, carbonatos e bicarbonatos (Oliveira & Maia, 1998; Silva Jr. et al., 1999); em função disto, a verificação da adequabilidade da água para fins de irrigação deve considerar principalmente fatores relacionados ao teor e tipo de sais, as características do solo, tolerância da cultura, condições climáticas, manejo da irrigação e condições de drenagem (Rhoades et al., 2000; Murtaza, et al. 2006).

De acordo com os dados obtidos pela FAO, o feijão-de-corda tolera a irrigação com água salina com condutividade elétrica de até 3,3 dS m⁻¹ (Ayers & Westcot, 1999); no entanto, este valor da salinidade limiar pode ser variável visto que as concentrações de sais que restringem o crescimento da planta oscilam entre variedades (Costa et al., 2003); por sua vez, o grau de inibição no crescimento provocado pelo estresse salino pode depender do método de irrigação, do tipo de solo, das condições climáticas, do tempo de exposição, do estágio de desenvolvimento da planta e da composição química da água de irrigação (Shannon, 1992).

A alta concentração de sais é um fator de estresse para as plantas, haja vista apresentar atividade osmótica retendo a água, além da ação de íons sobre o protoplasma e o impacto sobre a nutrição mineral das plantas (Munns, 2002). A salinidade afeta a nutrição mineral das culturas reduzindo a atividade dos íons em solução e alterando os processos de absorção, transporte, assimilação e distribuição de nutrientes na planta. A interação entre salinidade e nutrição mineral se torna mais complexa em virtude das diferenças na concentração e na composição iônica dos meios salinos (água e solo) aos quais as plantas são submetidas, e das diferentes respostas das plantas, tanto em relação à salinidade como em relação à eficiência na aquisição de minerais do solo (Lacerda, 2005). É possível sugerir, no entanto, que a predominância de determinados elementos minerais no ambiente radicular, como é comum em meios salinos afeta, direta ou indiretamente a aquisição de minerais essenciais podendo acarretar redução no crescimento e alterações na qualidade do produto vegetal (Grieve & Grattan, 1999; Lacerda, 2005).

Objetivou-se, portanto, com este trabalho, avaliar o crescimento vegetativo e a composição mineral de feijão-de-corda quando irrigado com águas de diferentes níveis de salinidade e variadas composições iônicas.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa de vegetação do Departamento de Bioquímica e Biologia Molecular da Universidade Federal do Ceará, CE, em Fortaleza (03°44' S; 38°33' W, a 19,5 m de altitude), no período de 5 de maio a 23 de junho de 2005.

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente ao acaso, com tratamentos distribuídos em esquema fatorial 4 x 3, sendo o primeiro fator os níveis de condutividade elétrica (0,5, 1,5, 3,0 e 4,5 dS m⁻¹) e o segundo, as composições iônicas da água de irrigação (A1 - mistura de NaCl, CaCl₂.2H₂O e MgCl₂.6H₂O na proporção de 7:2:1; A2 - mistura complexa de sais de cloreto, de sulfato, de carbonatos e de bicarbonatos; A3 - somente NaCl), com 5 repetições e duas plantas por repetição, totalizando 60 unidades experimentais. Empregou-se, para o preparo das soluções, a relação entre CEa e concentração (mmol_c L⁻¹ = CE x 10), extraída de Rhoades et al. (2000); as composições calculadas são apresentadas na Tabela 1.

As sementes de feijão-de-corda [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.] cv. Pitiúba foram postas para germinar em vasos contendo 22 kg de areia lavada; após o estabelecimento das plântulas (cerca de 4 dias depois da sementeira), fez-se o desbaste deixando-se duas plantas por vaso que, em seguida, passaram a ser irrigadas com água contendo quatro diferentes concentrações de sais (0,5, 1,5, 3,0 e 4,5 dS m⁻¹) e diferentes composições iônicas (Tabela 1). Para evitar o acúmulo excessivo de sais a água de irrigação foi aplicada em quantidade acima da necessária para saturar o solo, constituindo uma fração de lixiviação de 15% (Ayers & Westcot, 1999). A água foi aplicada de forma localizada nos vasos, de modo a evitar o contato direto da água com as folhas. As plantas

Tabela 1. Características químicas das águas aplicadas nos tratamentos

Table 1. Chemical characteristics of water applied in treatments

Água	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	Cl ⁻	CO ₃ ⁻	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ⁻	CEa (dS m ⁻¹)	pH	RAS (mmol _c L ⁻¹) ^{0,5}
	(mmol _c L ⁻¹)									
A1	1,0	0,5	3,5	6,5	-	-	-	0,5	7,0	4,04
	3,0	1,5	10,5	19,5	-	-	-	1,5	7,3	7,00
	6,0	3,0	21,0	39,0	-	-	-	3,0	7,4	9,90
	9,0	4,5	31,5	58,5	-	-	-	4,5	7,3	12,12
A2	2,5	0,7	2,15	7,1	0,1	0,75	0,25	0,5	7,9	1,70
	7,5	2,1	6,45	21,3	0,3	2,25	0,75	1,5	8,2	2,94
	15,0	4,2	12,9	42,6	0,6	4,5	1,5	3,0	8,3	4,16
	22,5	6,3	19,35	63,9	0,9	6,75	2,25	4,5	8,4	5,10
A3	0,02	-	4,98	5,02	-	-	-	0,5	7,1	49,8
	0,06	-	14,94	15,06	-	-	-	1,5	7,0	86,3
	0,12	-	29,88	30,12	-	-	-	3,0	7,3	122,0
	0,18	-	44,82	45,18	-	-	-	4,5	7,2	149,4

- Não detectado

foram suplementadas semanalmente com solução nutritiva de Hoagland (Epstein, 1975), utilizando-se 200 mL por vaso.

Foram medidos, 48 dias após o semeio, a área foliar, as massas frescas de folhas, caules e raízes. As folhas, caules e raízes, foram acondicionados em sacos de papel e colocados para secar em estufa com circulação forçada de ar, a 60 °C, pelo tempo de 7 dias, até se atingir peso constante, para obtenção da matéria seca total.

A partir da matéria seca das folhas e dos caules, que foram finamente triturados em moinho tipo Willey, obteve-se o extrato para a determinação dos teores de Na, Ca, K, P, Cl, Fe, Mn, Cu e Zn. O extrato foi preparado utilizando-se 200 mg do pó moído diluído em 15 mL de ácido clorídrico 1 N e, em seguida, agitado durante 60 min e filtrado através de papel de filtro de filtragem rápida (Miyazawa et al., 1984). Os teores de Na, Ca e K foram determinados através de fotometria de chama, os teores de P por colorimetria e os teores de Fe, Mn, Cu e Zn, por meio de espectrofotometria de absorção atômica (Malavolta et al., 1989).

Os teores de Cl foram definidos em extratos aquosos, a partir da diluição de aproximadamente 100 mg do material seco e moído, do caule e da folha, com 10 mL de água destilada deionizada. O homogêneo foi mantido em agitação durante aproximadamente uma hora e, em seguida, filtrado em papel de filtro. Utilizou-se para a determinação do Cl, uma alíquota de 0,5 mL do extrato, completado para 3,0 mL com água desmineralizada; logo depois se adicionaram 0,5 mL de mistura de $\text{Hg}(\text{SCN})_2$ 13,2mM, em metanol e de $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ 20,2% (4 + 1), lendo-se a absorvância a 460 nm após 15 min. Os teores de Cl foram determinados por meio de uma curva de calibração, utilizando-se o NaCl como padrão, preparada nas condições anteriores (Gaines et al., 1984); cada repetição foi dosada por uma amostra simples, sem replicata; enfim, os resultados foram submetidos a análise de variância, realizando-se a comparação entre médias pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, através do programa SAEG/UFV. Os dados oriundos de tratamentos com variáveis quantitativas foram submetidos a análise de regressão.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Crescimento vegetativo

A composição química da água de irrigação não influenciou a produção de matéria seca da parte aérea e total mas, sim, e de maneira, significativa a produção de matéria seca do sistema radicular (Tabela 2). Os níveis de salinidade da água de irrigação exerceram influência forte em todas as variáveis de crescimento, apesar de não se ter observado efeito interativo entre os fatores estudados.

A produção de matéria seca total (Figura 1A), da parte aérea (Figura 1B) e das raízes (Figura 1C) decresceu linearmente à medida que se elevou a concentração salina da água de irrigação. Como observado em muitos casos, a redução no crescimento de glicófitas, incluindo-se o feijão-de-corda, parece se ajustar melhor a um modelo linear, após determinado valor limite de concentração de sais no meio (Ayers & Westcot,

Tabela 2. Valores dos quadrados médios e significância estatística para as variáveis matéria seca da parte aérea (MSPA), matéria seca das raízes (MSR) e matéria seca total (MSTOT)

Table 2. Values of mean squares and statistical significance for the variables, dry mass of shoots (MSPA), dry mass of roots (MSR) and total dry mass (MSTOT)

Fontes de Variação	Quadrado Médio		
	MSPA	MSR	MSTOT
Água	3,70 ^{ns}	5,950*	5,322 ^{ns}
Sal	316,92**	31,838**	542,288**
Água x Sal	6,662 ^{ns}	1,230 ^{ns}	10,167 ^{ns}
Resíduo	3,445	0,978	4,694
C.V. (%)	8,69	23,85	8,49

*Significativo pelo teste F a 5%, ** Significativo pelo teste F a 1%;
ns - não significativo

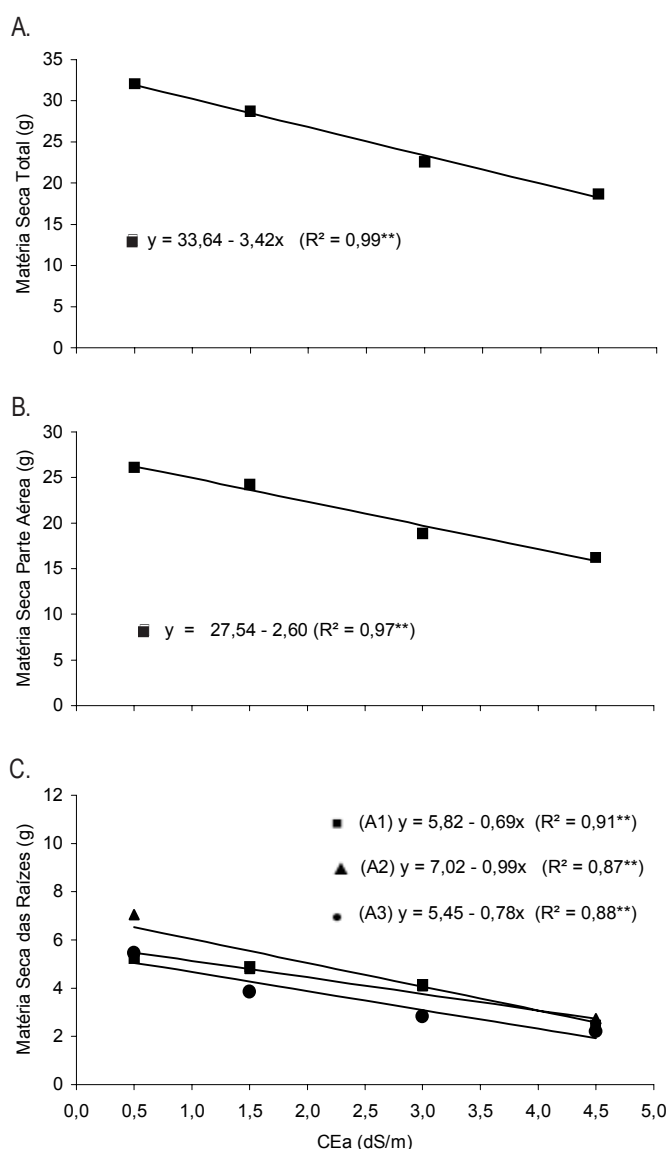


Figura 1. Matéria seca total (A), da parte aérea (B) e das raízes (C) de plantas de feijão-de-corda em função da salinidade e da composição química da água de irrigação.

Figure 1. Total dry mass of (A) shoots (B) roots and (C) cowpea plants as a function of salinity and chemical composition of irrigation water

1999). Resultados semelhantes foram constatados por Costa et al. (2003) e Dantas et al. (2003) utilizando o feijão-de-corda como planta indicadora em condições de casa de vegetação. Por outro lado, a composição química da água de irrigação teve pouca influência sobre o crescimento da planta, observando-se apenas diferença no crescimento radicular (Figura 1C). Em relação a Figura 1C a matéria seca da raiz foi maior nos tratamentos irrigados com a Água 2, quanto aos tratamentos com as Águas 1 e 3, o que resultou em maiores valores da relação raiz/parte aérea quando se utilizou a água rica em bicarbonatos (A2); em média, a matéria seca das raízes das plantas irrigadas com a A2 foi 12 e 30% maior que a das raízes das plantas irrigadas com A1 e A3, respectivamente; essas diferenças, no entanto, diminuíram com o aumento dos níveis de sais da água de irrigação indicando predominância dos efeitos osmóticos da salinidade sobre o crescimento, associados aos efeitos causados pelo acúmulo de cloreto nas folhas, o qual se encontrava presente nas diferentes composições iônicas das águas de irrigação (Tabela 1). A predominância de efeitos osmóticos e a toxidez potencial de cloreto têm sido sugeridas por outros autores (Munns, 2002; Lacerda, 2005).

O crescimento radicular foi mais afetado pelos níveis de sais que o crescimento da parte aérea (Figura 1). Comparando-se a produção de matéria seca no nível maior de salinidade com o menor nível, vê-se que a parte aérea teve redução média de 38% enquanto a matéria seca radicular decresceu 57%, em média (Figuras 1B e 1C), o que resultou em incremento da relação parte aérea/raiz; esse resultado está de acordo com o obtido por Moya et al. (1999), que sugerem que a maior redução no crescimento da raiz diminui a extração de íons potencialmente tóxicos do solo e favorecem a aclimação da planta ao estresse salino, mas, outros estudos demonstraram maior crescimento do sistema radicular, em relação ao da parte aérea, em plantas submetidas a diferentes estresses abióticos (hídrico, salino e nutricional) e isto pare-

ce resultar em melhor exploração da umidade do solo e de nutrientes, o que favorece o crescimento sob condições adversas (Shannon et al., 1994; Marschner, 1995; Lutts et al., 1996; Silva et al., 2003). Salienta-se que essas discrepâncias podem ser explicadas, em parte, pelas diferentes condições de cultivo utilizadas, tais como tipo de substrato, espécie, intensidade do estresse e o estágio de desenvolvimento em que o estresse é aplicado (Grattan & Grieve, 1999; Silva et al., 2003).

Quanto aos teores de nutrientes na matéria seca da parte aérea das plantas, observando a Tabela 3, constata-se que a salinidade exerceu efeito significativo nos teores de sódio, cálcio, cloreto, fósforo e manganês no caule; já nas folhas se nota que a salinidade crescente influenciou apenas os teores de cálcio, cloreto, fósforo, ferro e manganês; por outro lado, a composição química da água de irrigação influenciou os teores de todos os íons analisados, tanto no caule como nas folhas das plantas, excetuando-se o fósforo e o zinco.

O aumento no teor de sódio nas folhas e no caule, quando se incrementam os níveis de sais, está representado nas Figuras 2A e B, em que os teores de sódio no caule foram maiores que nas folhas, resultado este encontrado também por Lacerda (1995) e Silva (1998), o que pode ser explicado pelo fato deste íon, durante o seu transporte pela planta, ou seja, das raízes até as folhas, ser eliminado do fluxo transpiratório para ser compartimentalizado nos tecidos do caule + pecíolo (Silva, 1998); além disso, o íon sódio pode ser prontamente translocado por meio do floema e, desta forma, as altas concentrações que ocorrem em folhas que transpiram ativamente podem ser diluídas através de uma redistribuição por toda a planta (Larcher, 2000).

As respostas do íon cálcio em plantas de feijão-de-corda, quando submetidas a níveis crescentes de sais na água de irrigação, estão apresentadas nas Figuras 2C e D. Verifica-se aumento dos níveis do íon cálcio nas folhas, mesmo se utilizando águas de composições iônicas distintas, enquanto no

Tabela 3. Valores do quadrado médio e significância estatística para os teores de sódio (Na⁺), cálcio (Ca²⁺), potássio (K⁺), cloro (Cl⁻) e fósforo (P) no caule e nas folhas de plantas de feijão-de-corda cv. Pitiúba, irrigadas com água salina de diferentes composições iônicas.

Table 3. Values of mean squares and statistical significance for the concentrations of sodium (Na), calcium (Ca), potassium (K), chloride (Cl), phosphorus (P) in stem and in leaves of plants of cowpea cv. Pitiúba irrigated with saline water of different ionic composition

Fontes de Variação	Quadrado Médio								
	Na ⁺	Ca ²⁺	K ⁺	Cl ⁻	P	Cu	Fe	Mn	Zn
Caule									
Água	12,389**	22,754**	18,479*	29,099**	1,358 ^{ns}	0,374**	0,051**	1,586**	0,251 ^{ns}
Sal	0,747**	2,813**	7,851 ^{ns}	39,958**	8,917**	0,042 ^{ns}	0,001 ^{ns}	0,304**	0,236 ^{ns}
Água x Sal	0,714**	0,864**	9,244 ^{ns}	1,971 ^{ns}	0,482 ^{ns}	0,067 ^{ns}	0,021**	0,113**	0,216 ^{ns}
Resíduo	0,041	0,131	4,295	1,495	0,682	0,032	0,006	0,014	0,337
C.V. (%)	11,46	15,98	9,63	7,91	18,80	10,64	4,25	7,69	19,01
Folhas									
Água	0,034**	20,83**	31,560**	22,979**	1,253 ^{ns}	0,406**	0,069**	0,456**	0,109 ^{ns}
Sal	0,0083 ^{ns}	10,33**	10,577 ^{ns}	26,816**	10,318**	0,089 ^{ns}	0,074**	0,124**	0,039 ^{ns}
Água x Sal	0,0010 ^{ns}	0,549 ^{ns}	10,083 ^{ns}	2,674 ^{ns}	0,593 ^{ns}	0,194*	0,101**	0,026**	0,254 ^{ns}
Resíduo	0,0053	0,569	3,835	3,338	0,687	0,069	0,013	0,007	0,233
C.V. (%)	12,94	8,10	8,85	10,41	18,35	13,34	5,45	3,72	15,08

*Significativo pelo teste F a 5%; ** Significativo pelo teste F a 1%; ns - não significativo

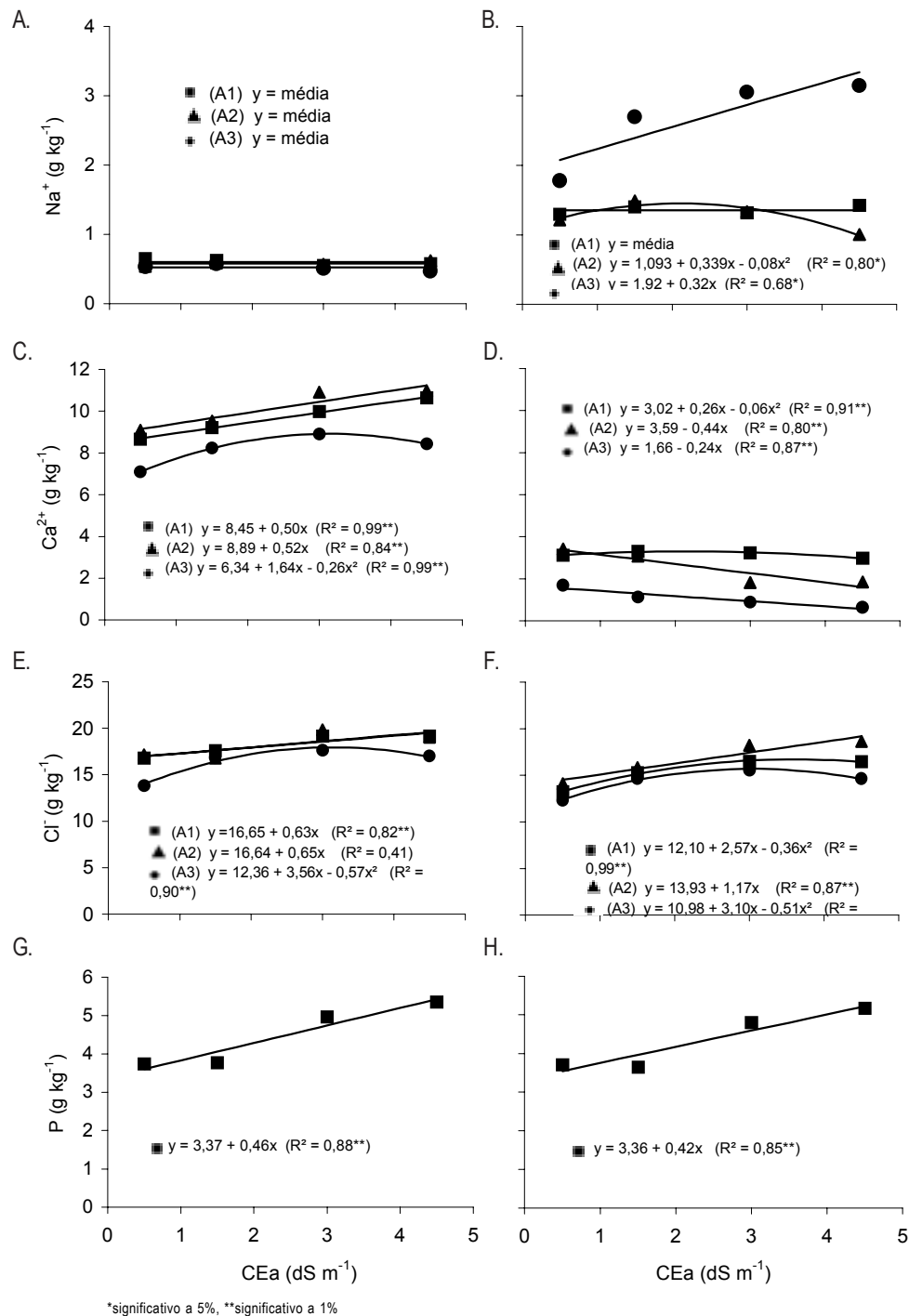


Figura 2. Teores de Na, Ca, Cl e P em folhas (A, C, E e G) e caules (B, D, F e H) de plantas de feijão-de-corda, em função dos níveis de salinidade e da composição química da água de irrigação

Figure 2. Concentrations of Na, Ca, Cl and P in leaves (A, C, E and G) and stem (B, D, F and H) of cowpea plants as a function of salinity level and chemical composition of irrigation water

caule ocorre decréscimo, resultados que são distintos aos observados por autores como: (Cramer et al., 1989; Nakamura et al., 1990; Silva, 1998). Por outro lado, o teor de cálcio nas folhas é superior ao do caule (Figura 2), resultado também encontrado por Lacerda (1995) e Silva (1998) em plantas de feijão-de-corda cv Pitiúba, submetidas a estresse salino. O aumento nos teores de cálcio nas folhas pode ser explicado

pela predominância de sais de cálcio na água de irrigação, especialmente nas plantas irrigadas com as águas 1 e 2 (A1 e A2). Em média, os teores de cálcio nas folhas dessas plantas foram cerca de 25% superiores aos das folhas das plantas irrigadas com a água 3 (A3).

Ao se analisar a resposta do íon cloro à salinidade, perceber-se um aumento nos seus teores em relação ao tratamento

de menor nível de sais (Figuras 2E e F), o que pode ter contribuído para redução no crescimento, conforme sugerido por outros autores (Munns, 2002). Os teores de cloreto, comparados com os do íon sódio, foram maiores devido, muito provavelmente, à composição química da água de irrigação utilizada no experimento (Tabela 1); resultado idêntico foi encontrado por Guimarães (2005) em plantas de feijão-de-corda da mesma cultivar ao observar que, para qualquer órgão analisado, o teor de cloreto foi sempre maior que o de sódio. Além disso, a distribuição do cloro na planta se apresentou mais uniforme que o sódio; como afirma Larcher (2000), a redistribuição do íon cloreto pela planta se apresenta como forma de sobrevivência em solos salinos.

O teor de fósforo nas plantas de feijão-de-corda cv Pitiúba, foi influenciado pelo estresse salino (Figuras 2G e H). Observa-se aumento no teor deste íon tanto nas folhas quanto no caule, para os três tipos de água (A1, A2 e A3). Resultados semelhantes foram obtidos em plantas de soja (Grattan & Maas, 1984), de tomate (Grattan & Grieve, 1999) e de feijão-de-corda (Lacerda, 1995) estressadas com NaCl. O aumento nos teores de P em plantas estressadas pode ser consequência do aumento na absorção desse nutriente pelas raízes, como sugerido por Roberts et al. (1984) e Navarro et al. (2001); entretanto, não se pode descartar um possível efeito de concentração devido à redução do crescimento foliar ou às diferenças na distribuição desse elemento entre as diferentes partes da planta (Lacerda, 2005).

Quanto aos teores de potássio, não se observou influência da salinidade da água de irrigação (Tabela 3). Altas concentrações do íon sódio podem inibir a absorção de K⁺ pelas plantas, através do antagonismo entre esses dois íons bem como poderá ocorrer o vazamento do íon potássio quando se dá substituição do Na⁺ pelo Ca²⁺ nas membranas celulares (Marschner, 1995); no entanto, esta relação antagônica verificada em muitas espécies (Azevedo Neto & Tabosa, 2000; Lacerda et al., 2003) não tem sido observada na maioria das cultivares de feijão-de-corda (Costa et al., 2003). De acordo com Lacerda (2005), as diferentes respostas obtidas em relação ao teor deste íon podem estar relacionadas com a duração do estresse salino e com a idade das folhas amostradas.

A composição química da água de irrigação afetou a composição mineral das folhas e caules para, praticamente, todos os elementos estudados (Tabela 4), refletindo, em parte, a sua composição iônica (Tabela 1); por exemplo, os teores de Na foram maiores nas folhas de plantas irrigadas com a água 3 (rica em NaCl), enquanto os teores de cálcio se apresentaram maiores quando a irrigação foi realizada com a água 2 (predominância de CaCl₂) e com a água 1 (presença de CaCl₂) e menores com a água 3 (sem cálcio); tendência semelhante é observada para o cloreto, com valores maiores nas águas 1 e 2, aquelas com maiores concentrações desse íon. Por outro lado, os teores de K nas folhas e caules foram menores nas plantas irrigadas com a água 2 (rica em Ca) que na água 3 (rica em Na), o que pode ser um indicativo de que nesta espécie o antagonismo entre Ca e K (Marschner, 1995) pode ser mais evidente que o antagonismo entre Na e K.

Observou-se, na Tabela 4, que o teor de cobre nas folhas é maior quando se utiliza uma água de irrigação com sais de

Tabela 4. Teores médios de Na, Cl, Ca, K, Cu, Fe, e Mn nos caules e folhas de plantas de feijão-de-corda irrigadas com água de diferentes composições iônicas

Table 4. Mean concentrations of Na, Cl, Ca, K, Cu, Fe and Mn in stems and leaves of cowpea irrigated with water of different ionic composition

Água	Na ⁺	Cl ⁻	Ca ²⁺	K ⁺	Cu	Fe	Mn
	(g kg ⁻¹)				(mg kg ⁻¹)		
Caule							
A1	1,36b	15,37b	3,16a	21,61ab	88,2a	61,9a	59,7a
A2	1,26b	16,70a	2,54b	20,52b	38,7b	50,2b	20,3b
A3	2,67a	14,29c	1,08c	22,44a	42,4b	60,3a	53,9a
Folhas							
A1	0,60a	18,16a	9,63a	22,22ab	182,1a	163,9a	212,4a
A2	0,58a	18,19a	10,13a	20,82b	98,2b	104,3b	119,8b
A3	0,52a	16,32b	8,17b	23,33a	94,6b	114,2ab	199,6a

* Médias seguidas de mesma letra, nas colunas, não diferem entre si pelo Teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

cálcio, magnésio e sódio (A1) seguidas da água composta de CaCl₂ e bicarbonatos (A2) e da água somente com NaCl em sua composição (A3); verifica-se por outro lado, que no caule os maiores teores do íon cobre foram observados na Água 1, seguida da Água 3 e 2. Os teores de ferro nas folhas, foram maiores nas plantas irrigadas com Água 1 seguida da Água 3 e 2, já no caule, se observam maiores valores ao se fazer a irrigação com as Águas 1 e 3 em relação a Água 2 (Tabela 4).

Ao se analisar os teores médios de manganês nas folhas e no caule das plantas de feijão-de-corda, nota-se comportamento semelhante ao encontrado para o ferro, ou seja, as Águas 1 e 3 apresentam maiores valores em relação à Água 2 (Tabela 4); além disso, ocorre redução nos teores desse micronutriente com o aumento da salinidade da água sendo que, em média, a redução foi de 23% (Figura 3). A redução no teor de Mn, provocada pela salinidade, tem sido observada na maioria das espécies estudadas independente do tipo de substrato utilizado no cultivo (Grattan & Grieve, 1999).

Esses resultados sugerem que a aquisição de micronutrientes, como ferro e manganês, pela planta, pode ser afetada pela composição do meio salino, podendo-se observar redução na absorção desses micronutrientes em função do antagonismo com o íon cálcio em excesso; verifica-se, também, que, de modo geral, os menores teores de micronutrientes foram encontrados nas plantas irrigadas com a Água 2 (Tabela 4), rica em bicarbonatos e sais de cálcio (Tabela 1), o que pode ser explicado, em parte, pelo fato dos cátions micronutrientes (Fe, Cu e Mn) sofrerem grande influência do pH e do conteúdo de cálcio no solo (Grattan & Grieve, 1999), ou seja, em condições ácidas os cátions micronutrientes apresentam maior solubilidade e disponibilidade para a absorção, podendo tornar-se às vezes, tóxicos às plantas. Com o aumento do pH esses íons passam para formas insolúveis (óxidos e hidróxidos) ocorrendo diminuição na sua solubilidade e disponibilidade às plantas (Marschner, 1995).

Os resultados obtidos mostram que a salinidade afetou mais o crescimento vegetativo (Tabela 2) ao passo que a composição iônica da água de irrigação provocou maiores

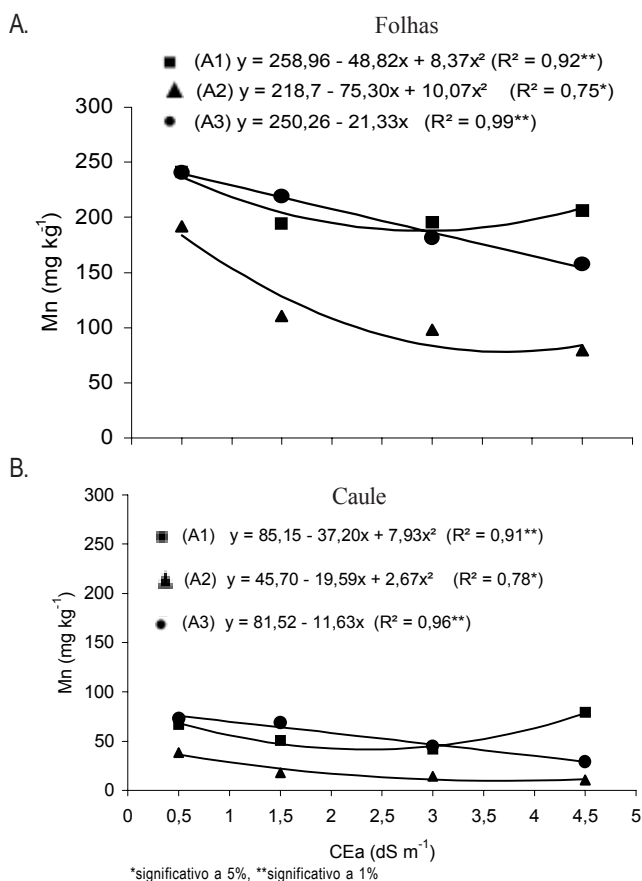


Figura 3. Teores de Mn em folhas (A) e caules (B) de plantas de feijão-de-corda, em função dos níveis de salinidade e da composição química da água de irrigação

Figure 3. Concentrations of Mn in leaves (A) and stems (B) of cowpea plants, as a function of salinity level and chemical composition of irrigation water

efeitos sobre a nutrição mineral das plantas (Tabelas 3 e 4). Embora não tenham sido observados efeitos da composição iônica da água de irrigação sobre o crescimento da parte aérea das plantas, não se pode descartar possíveis efeitos no crescimento reprodutivo nem na qualidade dos frutos, visto que tais alterações são também verificadas em outras espécies (Cuartero & Fernandez-Munoz, 1999; Grattan & Grieve, 1999; Lacerda, 2005).

CONCLUSÕES

1. A salinidade provocou redução linear no crescimento vegetativo, independente da composição iônica da água de irrigação, sendo que as reduções na produção de matéria seca total atingiram valores superiores a 40%, no nível mais elevado de sal;

2. O efeito da composição iônica da água de irrigação foi observado principalmente sobre a nutrição mineral, sendo que a absorção dos micronutrientes (Cu, Fe e Mn) foi afetada pela maior presença de sais de cálcio na água de irrigação e pela elevação do pH.

LITERATURA CITADA

- Ayers, R.S.; Westcot, D.W. A qualidade da água na agricultura. Campina Grande, UFPB, 1999. 153p.
- Azevedo Neto, A.D.; Tabosa, J.N. Estresse salino em plântulas de milho: Parte II. Distribuição dos macronutrientes catiônicos e suas relações com sódio. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v.4, n.2, p.165-171, 2000.
- Costa, P.H.A.; Silva, J.V.; Bezerra, M.A.; Enéas-Filho, J.; Prisco, J.T.; Gomes-Filho, E. Crescimento e níveis de solutos orgânicos e inorgânicos em cultivares de *Vigna unguiculata* submetidos à salinidade. Revista Brasileira de Botânica, São Paulo, v.26, n.3, p.289-297, 2003.
- Cramer, G.R.; Epstein, E.; Läuchli, A. Na-Ca interactions in barley seedlings: relationship to ion transport and growth. Plant, Cell and Environment, Logan, v. 12, p.551-558, 1989.
- Cuartero, J.; Fernandez-Munoz, R. Tomato and salinity. Scientia Horticulturae, Lexington, v. 78, p.83-125, 1999.
- Dantas, J.P.; Marinho, F. J. L.; Ferreira, M.M.M.; Amorim, M.S.N.; Andrade, S.I.O.; Sales, A.L. Avaliação de genótipos de caupi sob salinidade. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v.6, n.3, p.425-430, 2002.
- Epstein, E. Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas. São Paulo: EDUSP, 1975. 341p.
- Gaines, T.P.; Parker, M.B.; Gascho, G.J. Automated determination of chlorides in soil and plant tissue by sodium nitrate. Agronomy Journal, Madison, v.76, n.3, p.371-374, 1984.
- Grattan, S.R.; Grieve, C.M. Salinity-mineral nutrition relations in horticultural crops. Scientia Horticulturae, Lexington, v. 78, p.127-157, 1999.
- Grattan, S.R.; Maas, E.V. Interactive effects of salinity and substrate phosphate on soybean. Agronomy Journal, Madison, v.76, p. 668-676, 1984.
- Guimarães, F.V. Respostas fisiológicas e bioquímicas em plantas de feijão-de-corda cv Pitiúba submetidas ao estresse com NaCl em diferentes concentrações de CaCl₂ e CaSO₄. Fortaleza: Universidade Federal do Ceará, 2005. 176p. Tese de Doutorado
- Holanda, J. P.; Amorim, J.R.A. Qualidade de água para irrigação. In: Gheyi, H.R.; Queiroz, J.E.; Medeiros, J.M. (ed.) Manejo e controle da salinidade na agricultura irrigada. Campina Grande: UFPB-SBEA, 1997. p.137-169.
- Lacerda, C.F. Efeitos da salinidade do desenvolvimento e composição mineral do feijão-de-corda (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) e utilização do Ca²⁺ como meio para minorar tais efeitos. Fortaleza: Universidade Federal do Ceará, 1995, 87p. Dissertação de Mestrado.
- Lacerda, C. F. Interação salinidade x nutrição mineral. In: Nogueira, R. J. . C., Araújo, E. L., Willadino, L. G., Cavalcante, U. . (ed.) Estresses ambientais: danos e benefícios em plantas. Recife: UFRPE, 2005, p. 127-137.
- Lacerda, C.F.; Cambraia, J.; Cano, M.A.O.; Ruiz, H.A.; Prisco, J.T. Solute accumulation and distribution during shoot and leaf development in two sorghum genotypes under salt stress. Environmental and Experimental Botany, Paris, v.49, n.2, p.107-120, 2003.

- Larcher, W. *Ecofisiologia vegetal*. São Carlos: Ed. Rima Artes e Textos, 2000. 531p.
- Lutts, S.; Kinet, J.M.; Bouharmont, J. Effects of salt stress on growth, mineral nutrition and proline accumulation in relation to osmotic adjustment in rice (*Oryza sativa* L.) cultivars differing in salinity resistance. *Plant Growth Regulation*, v. 19, p.207-218, 1996
- Malavolta, E.; Vitti, G.C.; Oliveira, S.A. Avaliação do estado nutricional das plantas: Princípios e aplicações. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fósforo, 1989. 201p.
- Marschner, H. *Mineral nutrition of higher plants*. 2ed. London: Academic Press, 1995. 889p.
- Miyazawa, M.; Pavan, M. A. ; Bloch, M. F. M. Avaliação de métodos com e sem digestão para extração de elementos em tecidos de plantas. *Ciência e Cultura*, v.36, p.1953-1958, 1984.
- Moya, J.L.; Primo-Millo, E.; Talon, M. Morphological factors determining salt tolerance in citrus seedlings: the shoot to root ratio modulates passive root uptake of chloride ions and their accumulation in leaves. *Plant, Cell and Environment*, Logan, v.22, n.11, p.1425-1433, 1999.
- Munns, R. Comparative physiology of salt and water stress. *Plant, Cell and Environment*, Logan, v.25, n.2, p.239-250, 2002.
- Murtaza, G.; Ghafoor, A.; Qadir, M. Irrigation and soil management strategies for using saline-sodic water in a cotton-wheat rotation. *Agricultural Water Management*, Amsterdam, v. 81, p.98-114, 2006.
- Nakamura, Y.; Tanaka, K.; Ohta, E.; Sakata, M. Protective effects of external Ca^{2+} on elongation and the intracellular concentration of K^{+} in intact mung bean roots under high NaCl stress. *Plant Cell Physiology*, v.31, p.815-821, 1990.
- Navarro, J.M.; Botella, M.A.; Cerda, A.; Martinez, V. Phosphorus uptake and translocation in salt-stressed melon plants. *Journal Plant Physiology*, v.158, p.375-381, 2001.
- Oliveira, M.; Maia, C.E. Qualidade físico-química da água para irrigação em diferentes aquíferos na área sedimentar do estado do Rio Grande do Norte. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v.2, n.1, p.17-21, 1998.
- Rhoades, J.P.; Kandiah, A.; Mashali, A.M. Uso de águas salinas na produção agrícola. Campina Grande: UFPB, 2000. 117p.
- Roberts, J.K.M.; Linker, C.S.; Benoit, A.G.; Jardetzky, O.; Nierman, R.H. Salt stimulation of phosphate uptake in maize root tips studied by ^{31}P nuclear magnetic resonance. *Plant Physiology*, Rockville, v. 75, p 947-950, 1984.
- Shannon, M.C. The effects of salinity on cellular and biochemical processes associated with salt tolerance in tropical plants. In: *Proceedings in plant stress in the tropical environment* Davenport T.L. Harrington; H.M. (ed.). Kailu-Kona: University of Florida, 1992. p.56-63.
- Shannon, M. C., Grieve, C. M., Francois, L. E. Whole-plant response to salinity. In: *Wilkinson, R. E. (ed.) Plant-environmental interactions*. New York: Marcel-Decker, 1994. p. 199-244.
- Silva, J.V. Efeitos do CaCl_2 no crescimento e acumulação de osmorreguladores em plantas de feijão-de-corda cv. Pitiúba estressadas com NaCl. Fortaleza: Universidade Federal do Ceará, 1998, 103p. Dissertação de Mestrado.
- Silva J.V.; Lacerda, C.F.; Costa, P.H.A.; Enéas-Filho, J.; Gomes-Filho, E.; Prisco, J.T. Physiological responses of NaCl stressed cowpea plants grown in nutrient solution supplemented with CaCl_2 . *Brazilian Journal of Plant Physiology*, Campinas, v.15, n.2, p.99-105, 2003.
- Silva Jr., L.G.A.; Gheyi, H.R.; Medeiros, J.F. Composição química de águas do cristalino do Nordeste Brasileiro. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v.3, n.1, p.11-17, 1999.