



Revista Ceres

ISSN: 0034-737X

ceresonline@ufv.br

Universidade Federal de Viçosa

Brasil

Ribeiro dos Santos, Patrícia; Ruiz, Hugo Alberto; Lima Neves, Júlio César; Galvão dos Santos Freire,
Maria Betânia; Freire, Fernando José

Acúmulo de cátions em dois cultivares de feijoeiro crescidos em soluções salinas

Revista Ceres, vol. 56, núm. 5, septiembre-octubre, 2009, pp. 666-678

Universidade Federal de Viçosa

Vicosa, Brasil

Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=305226893016>

- Como citar este artigo
- Número completo
- Mais artigos
- Home da revista no Redalyc

redalyc.org

Sistema de Informação Científica

Rede de Revistas Científicas da América Latina, Caribe , Espanha e Portugal
Projeto acadêmico sem fins lucrativos desenvolvido no âmbito da iniciativa Acesso Aberto

Acúmulo de cátions em dois cultivares de feijoeiro crescidos em soluções salinas¹

Patrícia Ribeiro dos Santos², Hugo Alberto Ruiz³, Júlio César Lima Neves⁴, Maria Betânia Galvão dos Santos Freire⁵, Fernando José Freire⁵

RESUMO

Com o objetivo de isolar os efeitos da presença de concentrações elevadas de sais na solução, verificando respostas à pressão osmótica, sódio, cloreto, bicarbonato e pH, foi realizado um ensaio utilizando dois cultivares de feijoeiro: Diamante Negro e OPNS 331. As sementes foram germinadas em água desionizada e as plântulas, transplantadas para a solução nutritiva, acrescida de 60 mmol L⁻¹ dos sais: NaNO₃, NaCl, NaHCO₃, KNO₃, KCl ou KHCO₃, além de um tratamento controle. O pH da testemunha e das soluções que incluíram nitratos e cloretos foi mantido em 5,5, e o das soluções com bicarbonato, em 8,5. Foi acrescentado um tratamento adicional, em que a solução nutritiva com NaCl teve seu pH elevado a 8,5 com hidróxido de lítio, para coincidir com o das soluções de bicarbonato e testar o efeito do pH. O cultivar OPNS 331 foi mais tolerante à salinidade do que o Diamante Negro nos dois feijoeiros estudados. Os efeitos prejudiciais, decorrentes de concentrações salinas e pH elevados, foram hierarquizados na ordem: sódio > alcalinidade > ânion acompanhante.

Palavras-chave: Salinidade, alcalinidade, cloreto, bicarbonato, *Phaseolus vulgaris*.

ABSTRACT

Ca, Mg, Na, K accumulation in two bean cultivars grown in saline solutions

A trial with the common bean cultivars Diamante Negro and OPNS 331 was performed to isolate the effects caused by high salt concentrations in solution and verify responses to osmotic pressure, sodium, chloride, bicarbonate, and pH. The treatments consisted of NaNO₃, NaCl, NaHCO₃, KNO₃, KCl, or KHCO₃ solutions, and a control treatment. The pH of the control, nitrate and chloride solutions were maintained at 5.5, and bicarbonate solutions at 8.5. A further treatment was added, in which the pH of the nutrient solution with NaCl was raised to 8.5 to equal the pH of bicarbonate solutions. The effect of sodium chloride was thus tested at the two indicated pH values. Cultivar OPNS 331 was more tolerant to salinity than Diamante Negro cultivar, the harmful effects caused by high salt concentrations and pH, in both common bean varieties under study, can be ranked in the following order: osmotic pressure > alkalinity > accompanying anion.

Key words: Salinity, alkalinity, chlorine, bicarbonate, *Phaseolus vulgaris*

Recebido para publicação em dezembro de 2008 e aprovado em junho de 2009

¹ Parte da Dissertação de Mestrado do primeiro autor apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas da UFV.

² Engenheira Agrônoma, M.Sc. em Solos e Nutrição de Plantas, Doutoranda em Ciência do Solo/UFRPE. Rua D. Manoel de Medeiros, s/n, Dois Irmãos, 52171-900 Recife, PE, Brasil. patufrpe@yahoo.com.br

³ Bioquímico, Doutor, Departamento de Solos, Universidade Federal de Viçosa, Av. P. H. Rolfs, s/n, 36.570-000 Viçosa, MG, Brasil. hruiz@ufv.br

⁴ Engenheiro Agrônomo, Doutor, Departamento de Solos, Universidade Federal de Viçosa, Av. P. H. Rolfs, s/n, 36.570-000 Viçosa, MG, Brasil. julio.neves@pesquisador.cnpq.br

⁵ Engenheiros Agrônomos, Doutores. Departamento de Agronomia, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Rua Dom Manoel de Medeiros, s/n, 52.171-900 Recife, PE, Brasil. betania@depa.ufrpe.br, f.freire@depa.ufrpe.br

INTRODUÇÃO

O uso intensivo do solo e da água, justificado pela necessidade de aumentar a produção agrícola, frequentemente tem sido associado à degradação desses recursos naturais. Um dos grandes problemas ambientais decorrentes da escassez e do mau uso do solo e da água é a salinização, processo que restringe a produção de alimentos no mundo. Na atualidade, grandes proporções de áreas agricultáveis no mundo encontram-se salinizadas, constituindo-se crescente problema.

A maioria das plantas cultivadas pertence ao grupo das glicófitas, que apresentam baixa capacidade de crescimento e de desenvolvimento em ambientes com elevadas concentrações de sais. Nessas plantas, os efeitos iônico e osmótico são identificados como prováveis causadores da toxicidade, em resposta à salinidade. O efeito osmótico atua nas relações hídricas da planta. Desse modo, à medida que a água do conteúdo celular diminui, observa-se retração da membrana plasmática, seguida do relaxamento da parede celular. Com a duração do estresse, a membrana plasmática torna-se mais espessa, cobrindo uma área cada vez menor (Taiz, L. & Zeiger, 2002). O efeito iônico envolve interferências na absorção, assimilação e transporte de nutrientes nas funções da membrana plasmática e nos distúrbios de processos metabólicos, como síntese de proteínas, atividade de enzimas, respiração e fotossíntese (Levitt, 1972; Orcutt e Nilsen, 2002).

O excesso do cátion sódio no meio de crescimento das raízes promove competição pelos sítios de absorção, especialmente de potássio, cálcio e magnésio, levando a deficiências nutricionais na planta (Fageria, 1991). Esse fato foi confirmado por Viana *et al.* (2001) em videiras cultivadas em condições salinas. Esses autores constataram que o sódio diminuiu a concentração de potássio, magnésio e cálcio em tecidos de folhas e caules.

Algumas espécies vegetais, ou mesmo variedades, são mais eficientes no equilíbrio das condições desfavoráveis impostas pelo excesso de sais no ambiente, sendo, portanto, mais tolerantes. Na comparação de dois genótipos de trigo cultivados sob salinidade, Saqib *et al.* (2005) concluíram que o desenvolvimento de raízes adventícias e aerênquimas corticais em raízes contribuiu para a maior tolerância de um dos genótipos sob salinidade e inundação, reduzindo o acúmulo de sódio nas folhas, possibilitando a manutenção de elevada taxa fotossintética e acarretando maior crescimento. Dantas *et al.* (2002) encontraram três genótipos de caupi tolerantes a até 6 dS m⁻¹, demonstrando que o caupi tem alta capacidade de crescimento e produção em ambiente de alta salinidade e que esse fenômeno está sob controle genético.

O feijoeiro é considerado espécie sensível à salinidade. Orcutt e Nilsen (2002) relataram redução de 50% na produção do feijoeiro, quando crescido em solo salino com condutividade elétrica de 3,5 dS m⁻¹ no extraído da pasta de saturação. Os danos causados foram mais expressivos na parte aérea que nas raízes das plantas. Costa *et al.* (2003) também comprovaram os efeitos do sal, testando diferentes cultivares de feijão caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) em solução com 75 mmol L⁻¹ de NaCl. Esses autores observaram que o grau de tolerância à salinidade variou de cultivar para cultivar. Os mais tolerantes apresentaram maior suculência foliar e índice de esclerofilia. Mesmo em genótipos mais tolerantes, Costa *et al.* (1999) observaram que o estresse salino provocou aumento no diâmetro médio do caule e diminuição no número de folhas e na matéria seca da parte aérea em feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). Aspectos metabólicos relacionados ao estresse salino foram estudados por Broetto *et al.* (1995), que observaram decréscimo no crescimento relativo e no teor de proteínas e aumento significativo no conteúdo de prolina e na atividade da enzima peroxidase de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L) em resposta ao NaCl.

O efeito tóxico dos íons sobre as plantas varia conforme a natureza dos sais. Geralmente, os de maior toxicidade são aqueles de maior solubilidade, como NaCl, MgSO₄, Na₂SO₄ e MgCl₂. Íons mais solúveis podem ser transportados rapidamente até as raízes, acumulando-se nos tecidos das plantas em grandes quantidades e em curto intervalo de tempo (Munns, 2002).

O efeito tóxico do NaCl sobre as plantas deve-se tanto aos íons Na⁺ quanto aos Cl⁻ (Marschner, 1995); sob altas concentrações de Na⁺ e ou Cl⁻ no cloroplasto, o metabolismo do carbono e a fotofosforilação são alterados, inibindo a fotossíntese. Adicionalmente, alta relação Na/K retrai a síntese de proteínas e inativa várias enzimas (Taiz & Zeiger, 2002).

Frequentemente o sódio em excesso na solução do solo provoca desequilíbrio nutricional, por ser absorvido em altas quantidades pelas raízes das plantas e reduzir a absorção de outros cátions, como potássio, magnésio e cálcio. Os cátions são absorvidos passivamente, no sistema uniporte ou antiporto, dissipando o gradiente eletroquímico criado pela bomba de prótons (H⁺-ATPase) da membrana plasmática (Marshner, 1995). Em baixos teores de K, principalmente, e de Mg operam os sistemas antiportes (H⁺/K⁺, 2H⁺/Mg²⁺), altamente especializados, com pouca ação do Na⁺ sobre eles; entretanto, em altas concentrações de K⁺, Mg²⁺ e Ca²⁺ operam os canais iônicos na membrana de pouca seletividade. O Na⁺, em altas concentrações, penetra por esses canais, despotencializa a membrana e, assim, reduz a absorção dos demais cátions metálicos.

Assim, plantas sob estresse salino podem apresentar baixos conteúdos de nutrientes, como potássio, cálcio e magnésio, nos tecidos. A associação entre altos valores de sódio e elevadas relações Na/K, Na/Ca e Na/Mg acarreta redução do crescimento e rendimento das culturas.

O cloro é um micronutriente, mas é absorvido por algumas espécies em quantidades muito elevadas; contudo, pode causar problemas relativos a alterações metabólicas quando presente em altas concentrações no meio de cultivo, podendo-se acumular nos tecidos de maneira muito rápida (Levitt, 1972). Além do cloro, outros ânions que ocorrem em solos afetados por sais podem afetar o desenvolvimento das plantas. O bicarbonato é um dos mais comuns, presente em ambientes de elevado pH, o que causa confusão na separação dos efeitos do ânion e da alcalinidade no ambiente.

Este trabalho objetivou determinar os efeitos da pressão osmótica, do sódio, do cloreto, do bicarbonato e do pH no acúmulo de sódio, potássio, cálcio e magnésio de dois cultivares de feijoeiro crescidos em solução nutritiva, acrescida de diferentes sais.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi montado em casa de vegetação da Universidade Federal de Viçosa, em Viçosa (MG). Sementes de dois cultivares comerciais de feijão, Diamante Negro e OPNS 331, foram germinadas em água deionizada. Plântulas foram selecionadas e transferidas para vasos de 4.000 mL, contendo solução nutritiva específica para feijoeiros (Ruiz, 1997), diluída a $\frac{1}{2}$ força, permanecendo nessas condições por 10 dias. Após esse período, os vasos receberam solução nutritiva completa (Ruiz, 1997), acrescida, quando indicado, de 60 mmol L⁻¹ de NaNO₃, NaCl, NaHCO₃, KNO₃, KCl ou KHCO₃. Aumentou-se, ao ensaio, um tratamento com 60 mmol L⁻¹ de NaCl e pH 8,5 (elevado com hidróxido de lítio), para comparação com o NaHCO₃ nas mesmas condições de alcalinidade. O ensaio, num arranjo fatorial 2 x (1 + 7), foi disposto segundo delineamento experimental em blocos casualizados, com quatro repetições.

As unidades experimentais receberam aeração constante, e o nível da solução, no vaso, foi mantido pela adição de água deionizada nos períodos entre trocas. O pH foi monitorado diariamente, adicionando-se solução de hidróxido de lítio quando necessário, com exceção dos tratamentos contendo bicarbonato de sódio ou de potássio, em que o pH variou livremente no intervalo de 8,6–8,8. O período de estresse teve duração de 21 dias, com renovação da solução nutritiva a cada sete dias.

Na ocasião da coleta, ao término do período experimental, as plantas tiveram suas partes vegetativas separadas em folhas, pecíolos, caules e raízes. Todo material foi seco em estufa a 75 °C até peso constante e pesado. O

material vegetal seco foi moído e submetido à digestão nitroperclórica (Bataglia *et al.*, 1983), determinando-se, no extrato, os teores de Na e K, por fotometria de emissão de chama, e de Ca e Mg, por espectrofotometria de absorção atômica. Com os valores de produção de matéria seca e do teor no tecido vegetal, calculou-se o acúmulo desses elementos nas plantas dos cultivares estudados, e com os teores dos elementos calcularam-se as relações Na/K, Na/Ca e Na/Mg em suas partes.

Os resultados experimentais foram analisados estatisticamente por meio da análise da variância, comparando-se os cultivares pelo teste de médias e os tratamentos salinos por contrastes de interesse, conforme a Tabela 1.

Tabela 1. Contrastess analisados para cada cultivar

Tratamento	Contraste ¹						
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
Testemunha	6	0	0	0	0	0	0
Na ⁺ NO ₃ ⁻	-1	1	3	0	0	0	0
Cl ⁻ (pH 5,5)	-1	1	-1	1	0	0	0
Cl ⁻ (pH 8,5)	0	0	-1	-1	1	0	0
HCO ₃ ⁻	-1	1	-1	0	-1	0	0
K ⁺ NO ₃ ⁻	-1	-1	0	0	0	2	0
Cl ⁻	-1	-1	0	0	0	-1	1
HCO ₃ ⁻	-1	-1	0	0	0	-1	-1

¹ C1: testemunha vs. soluções salinas; C2: Na⁺ vs. K⁺; C3: NO₃⁻ vs. Cl⁻ + HCO₃⁻ d/Na⁺; C4: pH d/NaCl; C5: Cl⁻ vs. HCO₃⁻ d/Na⁺; C6: NO₃⁻ vs. Cl⁻ + HCO₃⁻ d/K⁺; C7: Cl⁻ vs. HCO₃⁻ d/K⁺.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em geral, os teores de sódio nas partes das plantas dos dois cultivares estudados decresceram na seqüência caule > raízes > pecíolos > folhas (Tabela 2), indicando capacidade das plantas em diminuir a concentração desse elemento nos órgãos fotossinteticamente ativos, fator positivo na definição da tolerância ao estresse salino. Também de forma geral, os maiores teores de sódio nessas partes foram observados quando as plantas foram cultivadas nas soluções de NaCl, seguidas de NaNO₃ e NaHCO₃, acompanhando o decréscimo na solubilidade dos sais utilizados.

Trabalhando com dois genótipos de sorgo irrigados com águas salinas, Aquino *et al.* (2007) observaram eficiente retenção de sódio nas plantas, principalmente no colmo, minimizando seu acúmulo nos tecidos foliares, áreas consideradas como órgãos-fonte, pela sua atuação na fotossíntese e produção da planta. Esses autores destacam que em um dos genótipos os maiores teores foliares de potássio e a retenção de sódio no colmo foram responsáveis pela maior tolerância ao estresse salino.

Contudo, em pesquisa conduzida por Slama (1986), a capacidade das plantas em excluir o sódio das folhas não foi suficiente para indicar a tolerância de variedades de *Phaseolus vulgaris* ao cloreto de sódio, apesar da alocação preferencial de sódio e cloreto nos ramos de feijão, os quais apresentaram concentrações desses elementos superiores às das raízes e folhas.

No presente trabalho, o cultivar Diamante Negro apresentou maiores teores de sódio nos pecíolos e caules que o OPNS 331, contudo esses teores não diferiram nas folhas e raízes das plantas dos dois cultivares.

O efeito depressivo da salinidade sobre plantas de trigo foi atribuído por Saqib *et al.* (2005) ao aumento na absorção de sódio e à redução na de potássio, levando à maior relação Na^+/K^+ nas folhas, devido ao desbalanço iônico celular, aos danos osmóticos e às desordens na ativação enzimática e síntese de proteínas. Popova & Golldack (2007), comparando espécies de plantas halófitas facultativas quanto à tolerância à salinidade, observaram que a espécie tolerante foi capaz de manter a mesma acumulação de potássio em folhas e raízes da testemunha quando submetida ao estresse salino, enquanto a sensível teve sua capacidade de absorção de potássio reduzida sob estresse salino, chegando à morte no mais alto nível de NaCl. Resultados semelhantes foram obtidos por Bhivare & Nimbalkar (1984), que verificaram decréscimo de potássio em caules e pecíolos de feijão, e por Jeschke & Wolf (1988) em plantas de mamona submetidas ao estresse salino.

Adicionalmente, os teores de sódio e de potássio nas partes das plantas diferiram entre a testemunha e os tratamentos salinos (Contraste 1 – Tabela 2), indicando alteração na concentração desses elementos quando as plantas dos dois cultivares de feijão foram submetidas ao estresse salino.

Em geral, incrementos nos teores de cálcio e magnésio para os dois cultivares foram observados mais sistematicamente nas folhas; nas outras partes das plantas, aumentavam ou diminuíam para os diferentes sais e partes estudadas (Tabela 3). Entretanto, esses elementos foram encontrados em maiores concentrações nas folhas e raízes dos dois cultivares estudados, sem diferenças entre elas. Os teores destes dois nutrientes também foram maiores na presença do sódio, sendo sensivelmente mais baixos do que na presença do potássio, como mostra o contraste K vs Na.

A maioria dos outros contrastes analisados não foi estatisticamente significativa, mostrando comportamento semelhante das plantas sob a influência dos ânions estudados.

Estudo anterior revelou que o incremento de NaCl na solução de crescimento estimulou o aumento do teor de magnésio na massa seca de plantas de feijão (Hajrasuliha,

1980). Contudo, efeitos inibitórios foram verificados por Ferreira *et al.* (2001) em folhas de goiabeira submetidas a doses crescentes de NaCl na solução nutritiva, e Monte *et al.* (2004) observaram que os teores de magnésio foram crescentes até níveis intermediários de salinidade, decrescendo em níveis mais elevados. É possível que isso justifique os resultados diferentes nos trabalhos citados. Dependendo das doses de sais aplicadas às plantas pode ocorrer inicialmente efeito estimulante dos sais na absorção do magnésio, evoluindo para a diminuição nos teores de magnésio com a elevação da salinidade para níveis superiores.

Os teores de Ca e Mg diminuíram com a elevação do pH, devido, possivelmente, à precipitação de sais de fósforo, reduzindo a concentração dos cátions bivalentes na solução nutritiva e/ou dificuldade da planta em manter seu potencial eletroquímico celular e sua eletronegatividade sob condição de pH elevado na solução exterior da membrana plasmática. Como o pH do citosol é cerca de 7,3-7,6, apropriado para trabalhar em solos com pH em torno de 5,5, quando o pH se eleva acima de 8,0, os processos metabólicos de absorção se complicam e há forte redução na absorção dos ânions acompanhantes, especialmente de fósforo e enxofre, essenciais para a síntese de novas proteínas.

A alta concentração de Ca nas raízes provavelmente foi devida à precipitação de CaCO_3 na superfície radicular, pois o pH em torno de 8,2-8,5 favorece a formação de calcita (Lindsay, 1979), e a absorção radicular aumenta a concentração de cálcio nas proximidades das raízes, favorecendo sua precipitação. O pH nos tratamentos com bicarbonato variaram livremente entre 8,6 e 8,8, favorecendo, portanto, a precipitação citada. Resultados de acúmulo de sódio, potássio, cálcio e magnésio nas partes das plantas de feijoeiro (Tabelas 4 e 5) permitiram avaliar os totais desses elementos absorvidos pelas plantas em função dos tratamentos aplicados, permitindo melhor compreensão da dinâmica de utilização de nutrientes pelas plantas submetidas a condições salinas (Tabelas 2 e 3).

Foram observados maiores acúmulos de sódio nas plantas submetidas aos tratamentos com sais de sódio em relação à testemunha para os dois cultivares (Tabela 4), sendo o NaCl (a pH 5,5) o sal que proporcionou valores mais elevados, e as folhas os órgãos de maiores acúmulos, apesar de serem os órgãos onde ocorreram menores teores deste elemento (Tabela 2). Isso se justifica pelas folhas serem a parte de maior produção de matéria seca nas plantas de feijão dos dois cultivares estudados (Santos, 2006). Em geral, as culturas usam a estratégia de exclusão de Na e seu aprisionamento no vacúolo das raízes e dos tecidos mortos do caule. O Na absorvido pelas raízes e não acumulado no vacúolo pode, ainda, sofrer restrição no transporte para a parte aérea na fase de

Tabela 2. Teores de sódio e de potássio em folhas, pecíolos, caules e raízes de dois cultivares de feijoeiro submetidos a soluções nutritivas com 60 mmol L⁻¹ de sais sódicos ou potássicos, associados a diferentes ânions acompanhantes e pH

Cultivar	Tratamento/Contraste	Sódio				Potássio			
		Folhas	Pecíolos	Caules	Raízes	Folhas	Pecíolos	Caules	Raízes
dag kg ⁻¹									
Diamante	Testemunha	0,041	0,070	0,103	0,103	1,623	2,236	1,768	4,531
Negro	Na ⁺ NO ₃ ⁻	0,985	1,979	2,246	2,308	2,560	3,109	1,089	1,655
	Cl ⁻ (pH 5,5)	1,183	2,011	2,230	2,640	2,721	2,576	1,267	1,994
	Cl ⁻ (pH 8,5)	1,041	1,764	3,004	2,957	3,125	2,656	1,590	0,831
	HCO ₃ ⁻	0,208	1,974	3,151	0,830	2,608	3,981	2,350	0,249
	K ⁺ NO ₃ ⁻	0,041	0,070	0,103	0,103	4,256	4,918	4,417	6,065
	Cl ⁻	0,041	0,070	0,103	0,103	4,417	5,597	5,064	6,388
	HCO ₃ ⁻	0,041	0,070	0,103	0,103	2,802	5,451	3,787	4,531
	Média Trat. Salinos	0,506	1,134	1,563	1,292	3,213	4,041	2,795	3,102
	Média Geral ¹	0,448a	1,001a	1,380a	1,144a	3,014a	3,816a	2,667a	3,281a
Testemunha x soluções salinas ²		-0,375**	-0,959**	-1,220**	-0,911**	-1,605**	-2,036**	-1,228**	1,050**
	Na ⁺ vs. K ⁺	0,751**	1,918**	2,439**	1,823**	-1,196**	-2,100**	-2,854**	-4,362**
	NO ₃ ⁻ vs. Cl ⁻ + HCO ₃ ⁻ d/Na ⁺	0,174*	0,063	-0,549**	0,165	-0,258	0,038	-0,646*	0,630*
	pH d/NaCl	0,142	0,247*	-0,774**	-0,317*	-0,404	-0,081	-0,323	1,163**
	Cl ⁻ vs. HCO ₃ ⁻ d/Na ⁺	0,832**	-0,210	-0,147	2,127**	0,517*	-1,325**	-0,759*	0,582
	NO ₃ ⁻ vs. Cl ⁻ + HCO ₃ ⁻ d/K ⁺	0,000	0,000	0,000	0,000	0,646**	-0,606	-0,008	0,606
	Cl ⁻ vs. HCO ₃ ⁻ d/K ⁺	0,000	0,000	0,000	0,000	1,616**	0,145	1,276**	1,858**
OPNS	Testemunha	0,041	0,070	0,103	0,103	1,412	2,188	1,849	4,224
331	Na ⁺ NO ₃ ⁻	1,078	1,569	2,006	1,874	2,883	2,366	1,299	1,542
	Cl ⁻ (pH 5,5)	0,778	1,795	2,292	2,517	2,996	2,446	1,316	1,445
	Cl ⁻ (pH 8,5)	0,954	1,738	2,524	2,841	3,077	2,640	1,849	0,863
	HCO ₃ ⁻	0,132	1,685	3,143	0,753	2,802	4,321	2,705	0,152
	K ⁺ NO ₃ ⁻	0,041	0,070	0,103	0,103	4,111	5,775	3,044	6,162
	Cl ⁻	0,041	0,070	0,103	0,103	3,933	5,839	3,432	6,098
	HCO ₃ ⁻	0,041	0,070	0,103	0,103	2,705	4,983	3,400	4,611
	Média Trat. Salinos	0,438	1,000	1,468	1,185	3,215	4,053	2,435	2,982
	Média Geral ¹	0,388a	0,883b	1,297b	1,050a	2,990a	3,820a	2,362b	3,137a
Testemunha x soluções salinas ²		-0,311**	-0,807**	-1,189**	-0,806**	-1,826**	-2,100**	-0,684**	0,889**
	Na ⁺ vs. K ⁺	0,621**	1,613**	2,377**	1,611**	-0,689**	-2,488**	-1,519**	-4,577**
	NO ₃ ⁻ vs. Cl ⁻ + HCO ₃ ⁻ d/Na ⁺	0,457**	-0,170	-0,647**	0,162	-0,075	-0,770	-0,657*	0,722*
	pH d/NaCl	-0,176**	0,058	-0,232*	-0,325*	-0,081	-0,194	-0,533	0,582
	Cl ⁻ vs. HCO ₃ ⁻ d/Na ⁺	0,822**	0,053	-0,619**	2,088**	0,275	-1,680**	-0,856*	0,711
	NO ₃ ⁻ vs. Cl ⁻ + HCO ₃ ⁻ d/K ⁺	0,000	0,000	0,000	0,000	0,792**	0,364	-0,372	0,808*
	Cl ⁻ vs. HCO ₃ ⁻ d/K ⁺	0,000	0,000	0,000	0,000	1,228**	0,856	0,032	1,486**

¹Letras diferentes, na coluna, para cada cátion, nas variáveis que apresentaram homogeneidade de variâncias, indicam diferenças estatisticamente significativas a 5% pelo teste F entre os cultivares em estudo; ² *, **: Significativos a 5 e 1%, respectivamente, pelo teste F.

descarregamento no xilema. E mesmo que chegue às folhas, sua penetração nas células será restrita. Por isso as folhas são o órgão que menos concentra Na no feijoeiro e as raízes e os caules os que mais o concentram.

As folhas do cultivar Diamante Negro chegaram a acumular 16 vezes mais sódio no tratamento de NaCl (pH 5,5) do que a testemunha, acréscimo esse superior ao observado no OPNS 331 (Tabela 4). Entretanto, o último superou o Diamante Negro no acúmulo de sódio nas folhas e pecíolos, não sendo detectadas diferenças no caule e nas raízes.

Quanto ao potássio, foram observados aumentos no acúmulo deste elemento nos tratamentos de KNO₃ e KCl e decréscimo no de KHCO₃ nas folhas, nos pecíolos e no caule. Nas raízes ocorreu decréscimo de potássio mesmo com o uso dos sais desse elemento em quantidades excessivas. Como o potássio é um nutriente diretamente relacionado com funções osmóticas das plantas (Marschner, 1995), é provável que tenha ocorrido maior alocação deste nas folhas sob estresse salino como mecanismo de sobrevivência às condições de salinidade. O

Tabela 3. Teores de cálcio e de magnésio em folhas, pecíolos, caules e raízes de dois cultivares de feijoeiro submetidos a soluções nutritivas com 60 mmol L⁻¹ de sais sódicos ou potássicos, associados a diferentes ânions acompanhantes e pH

Cultivar	Tratamento	Cálcio				Magnésio			
		Folhas	Pecíolos	Caule	Raízes	Folhas	Pecíolos	Caule	Raízes
dag kg ⁻¹									
Diamante	Testemunha	1,453	1,367	1,088	1,245	0,226	0,151	0,150	0,231
Negro	Na ⁺ NO ₃ ⁻	1,952	0,954	1,075	1,114	0,250	0,141	0,217	0,348
	Cl ⁻ (pH 5,5)	1,957	1,212	1,126	1,113	0,241	0,150	0,220	0,310
	Cl ⁻ (pH 8,5)	2,190	0,982	1,128	0,560	0,284	0,130	0,217	0,202
	HCO ₃ ⁻	2,351	0,875	1,030	5,783	0,336	0,146	0,152	0,244
	K ⁺ NO ₃ ⁻	1,297	0,748	0,898	1,088	0,163	0,111	0,117	0,145
	Cl ⁻	1,201	1,005	0,802	0,997	0,166	0,110	0,109	0,159
	HCO ₃ ⁻	1,723	0,952	0,888	3,155	0,229	0,131	0,125	0,253
	Média Trat. Salinos	1,810	0,961	0,992	1,973	0,239	0,131	0,166	0,237
	Média Geral ^{1/}	1,766a	1,012a	1,004a	1,882a	0,237a	0,134a	0,164a	0,237a
Testemunha x soluções salinas ²		-0,294**	0,409**	0,118	-0,963**	-0,005	0,019	-0,007	-0,012
	Na ⁺ vs. K ⁺	0,680**	0,112*	0,214**	0,924**	0,090**	0,028**	0,079**	0,115**
	NO ₃ ⁻ vs. Cl ⁻ + HCO ₃ ⁻ d/Na ⁺	-0,214*	-0,069	-0,020	-1,372**	-0,037	0,000	0,021	0,096**
	pH d/NaCl	-0,234	0,230**	-0,002	0,553*	-0,043	0,020	0,003	0,109**
	Cl ⁻ vs. HCO ₃ ⁻ d/Na ⁺	-0,161	0,107	0,098	-5,223**	-0,052*	-0,016	0,065**	-0,043
	NO ₃ ⁻ vs. Cl ⁻ + HCO ₃ ⁻ d/K ⁺	-0,165	-0,230**	0,053	-0,988**	-0,034	-0,009	0,000	-0,061*
	Cl ⁻ vs. HCO ₃ ⁻ d/K ⁺	-0,523**	0,052	-0,087	-2,158**	-0,064*	-0,021	-0,016	-0,094*
OPNS 331	Testemunha	1,753	1,293	1,028	0,990	0,226	0,138	0,146	0,270
	Na ⁺ NO ₃ ⁻	2,034	0,975	1,050	0,916	0,253	0,141	0,214	0,282
	Cl ⁻ (pH 5,5)	1,780	0,854	1,198	0,874	0,238	0,120	0,209	0,264
	Cl ⁻ (pH 8,5)	2,347	0,933	1,383	0,624	0,301	0,154	0,248	0,216
	HCO ₃ ⁻	2,183	1,042	1,042	6,282	0,311	0,162	0,148	0,224
	K ⁺ NO ₃ ⁻	1,369	0,968	0,885	0,933	0,176	0,125	0,117	0,151
	Cl ⁻	1,546	0,903	0,868	0,789	0,200	0,107	0,125	0,133
	HCO ₃ ⁻	1,584	0,826	0,956	2,072	0,234	0,114	0,123	0,245
	Média Trat. Salinos	1,835	0,929	1,054	1,784	0,245	0,132	0,169	0,216
	Média Geral ^{1/}	1,824a	0,974a	1,051a	1,685a	0,242a	0,133a	0,166a	0,223a
Testemunha x soluções salinas ²		0,004	0,365**	0,028	-0,988*	-0,010	0,010	-0,010	0,053
	Na ⁺ vs. K ⁺	0,499**	0,058	0,194**	1,426**	0,064**	0,026**	0,068**	0,081**
	NO ₃ ⁻ vs. Cl ⁻ + HCO ₃ ⁻ d/Na ⁺	-0,070	0,032	-0,157*	-1,677**	-0,030	-0,005	0,012	0,047
	pH d/NaCl	-0,567**	-0,079	-0,185	0,250	-0,063*	-0,034*	-0,040*	0,048
	Cl ⁻ vs. HCO ₃ ⁻ d/Na ⁺	0,164	-0,109	0,341**	-5,658**	-0,010	-0,008	0,100**	-0,008
	NO ₃ ⁻ vs. Cl ⁻ + HCO ₃ ⁻ d/K ⁺	-0,196	0,104	-0,026	-0,497	-0,041	0,015	-0,007	-0,038
	Cl ⁻ vs. HCO ₃ ⁻ d/K ⁺	-0,038	0,077	-0,088	-1,283*	-0,034	-0,007	0,003	-0,112**

¹Letras diferentes, na coluna, para cada cátion, nas variáveis que apresentaram homogeneidade de variâncias, indicam diferenças estatisticamente significativas a 5% pelo teste F para os cultivares em estudo; ² *, **: Significativos a 5 e 1%, respectivamente, pelo teste F.

cultivar OPNS 331 também acumulou mais potássio e sódio que o Diamante Negro nas folhas e pecíolos, não sendo encontradas diferenças entre os dois no caule e nas raízes (Tabela 4). Assim, haveria uma resposta diferenciada dos dois cultivares na presença de sódio e de potássio, evidenciando que a variedade OPNS tem maior capacidade de crescimento ou de acumulação de biomassa sob condições de estresse salino (Contraste 2 – Tabela 4).

A resposta do teor de sódio aos diferentes ânions e pH deve ser observada nos contrastes 3, 4 e 5 (Tabela 2) e a do potássio, nos contrastes 6 e 7 (Tabela 2). No que se refere ao sódio, verifica-se que ocorreram alterações em folhas e caules e, em menor grau, nas raízes. Os sinais, em geral opostos para folhas e caules, indicam que aqueles ânions que provocaram maiores teores de sódio em folhas foram, também, os de menores valores em caules e vice-versa. Com relação ao potássio, os maiores valores

Tabela 4. Acúmulo de sódio e de potássio em folhas, pecíolos, caules e raízes de dois cultivares de feijoeiro submetidos a soluções nutritivas com 60 mmol L⁻¹ de sais sódicos ou potássicos, associados a diferentes ânions acompanhantes e pH

Cultivar	Tratamento	Sódio				Potássio			
		Folhas	Pecíolos	Caule	Raízes	Folhas	Pecíolos	Caule	Raízes
Diamante	Testemunha	4,470	1,240	4,863	2,217	176,451	39,789	82,725	97,834
Negro	Na ⁺ NO ₃ ⁻	52,680	20,466	37,038	23,017	136,102	31,979	17,966	15,641
	Cl ⁻ (pH 5,5)	71,931	22,697	41,474	31,594	169,956	29,421	23,486	22,376
	Cl ⁻ (pH 8,5)	26,756	11,875	42,265	17,475	82,516	17,953	22,099	4,944
	HCO ₃ ⁻	5,358	11,286	29,362	3,247	66,717	22,541	22,449	0,980
	K ⁺ NO ₃ ⁻	3,755	1,005	3,398	1,173	386,665	70,671	144,515	68,843
	Cl ⁻	3,279	0,673	3,463	1,493	351,967	53,945	171,034	92,512
	HCO ₃ ⁻	1,745	0,650	1,854	0,639	119,431	50,414	66,946	28,072
	Média Trat. Salinos	23,643	9,808	22,693	11,234	187,622	39,561	66,298	33,338
	Média Geral ^{1/}	21,247b	8,737b	20,465a	10,107a	186,226b	39,589b	68,903a	41,400a
Testemunha x soluções salinas ²	-18,655**	-8,223**	-14,569**	-7,976**	-28,689*	-3,373	8,326	59,763**	
	Na ⁺ vs. K ⁺	40,397**	17,374**	33,053**	18,184**	-161,762**	-30,363**	-106,198**	-50,143**
	NO ₃ ⁻ vs. Cl ⁻ + HCO ₃ ⁻ d/Na ⁺	17,998**	5,179**	-0,662	5,579**	29,705	8,674	-4,713	6,208
	pH d/NaCl	45,175**	10,822**	-0,790	14,119**	87,440**	11,468	1,387	17,432*
	Cl ⁻ vs. HCO ₃ ⁻ d/Na ⁺	21,397**	0,589	12,903**	14,228**	15,799	-4,588	-0,350	3,964
	NO ₃ ⁻ vs. Cl ⁻ + HCO ₃ ⁻ d/K ⁺	1,243	0,343	0,740	0,107	150,966**	18,491	25,525**	8,551
	Cl ⁻ vs. HCO ₃ ⁻ d/K ⁺	1,534	0,023	1,609	0,853	232,536**	3,530	104,089**	64,440**
OPNS	Testemunha	5,510	1,985	5,732	2,328	188,107	62,724	102,419	95,817
331	Na ⁺ NO ₃ ⁻	74,966	23,053	46,558	14,873	200,962	35,070	30,193	12,167
	Cl ⁻ (pH 5,5)	59,430	25,682	59,683	28,741	230,866	34,826	34,446	16,082
	Cl ⁻ (pH 8,5)	38,976	19,115	42,635	19,196	125,402	29,151	30,941	5,771
	HCO ₃ ⁻	6,122	17,603	38,669	4,070	128,826	44,923	33,332	0,835
	K ⁺ NO ₃ ⁻	3,581	1,541	4,620	1,614	357,629	126,887	138,015	96,767
	Cl ⁻	2,933	1,215	3,372	1,506	280,653	101,315	111,629	89,017
	HCO ₃ ⁻	2,257	0,831	2,313	0,735	148,554	59,624	76,234	33,199
	Média Trat. Salinos	26,895	12,720	28,264	10,105	210,413	61,685	64,970	36,263
	Média Geral ^{1/}	24,222a	11,378a	25,448a	9,133a	207,625a	61,815a	69,651a	43,707a
Testemunha x soluções salinas ²	-19,371**	-9,669**	-20,137**	-6,262**	-36,475*	-4,384	31,778**	54,473**	
	Na ⁺ vs. K ⁺	43,916**	20,917**	44,868**	14,610**	-75,394**	-57,669**	-75,969**	-63,299**
	NO ₃ ⁻ vs. Cl ⁻ + HCO ₃ ⁻ d/Na ⁺	40,124**	2,253	-0,437	-2,463	39,263*	-1,230	-2,714	4,604
	pH d/NaCl	20,454**	6,567**	17,048**	9,546**	105,464**	5,676	3,505	10,311
	Cl ⁻ vs. HCO ₃ ⁻ d/Na ⁺	32,855**	1,512	3,966	15,126	-3,424	-15,773*	-2,391	4,936
	NO ₃ ⁻ vs. Cl ⁻ + HCO ₃ ⁻ d/K ⁺	0,986	0,518	1,778	0,494	143,025**	46,418**	44,083**	35,659**
	Cl ⁻ vs. HCO ₃ ⁻ d/K ⁺	0,677	0,384	1,060	0,771	132,099**	41,691**	35,395**	55,817**

¹Letras diferentes, na coluna, para cada cátion, nas variáveis que apresentaram homogeneidade de variâncias, indicam diferenças estatisticamente significativas a 5% pelo teste F para os cultivares em estudo; ²*, **: Significativos a 5 e 1%, respectivamente, pelo teste F.

corresponderam à associação com o cloreto, vindo, na sequência, os teores associados ao nitrato e ao bicarbonato. A ordem observada para os dois cátions, no momento em que os contrastes que analisaram o acúmulo (Tabela 4) mostraram significância estatística, seguiram a sequência NO₃H⁺Cl⁻>HCO₃⁻.

Da mesma maneira foram observadas reduções nos conteúdos acumulados de cálcio e magnésio nas partes das plantas dos dois cultivares estudados (Contrace 1 – Tabela 5), mais uma vez concordando com os

resultados de Ferreira *et al.* (2001). O fornecimento de sais de sódio na solução nutritiva reduziu o acúmulo de cálcio e magnésio nas plantas, enquanto o de sais de potássio diminuiu os teores e acúmulos de cálcio e magnésio nas plantas. Em ambos os casos a redução do acúmulo se deu devido, em grande parte, à redução da produção de biomassa da planta (Santos, 2006). Assim, nas doses usadas os sais de ambos os elementos testados foram fatores de redução da produtividade da cultura.

Tabela 5. Acúmulo de cálcio e de magnésio em folhas, pecíolos, caules e raízes de dois cultivares de feijoeiro submetidos a soluções nutritivas com 60 mmol L⁻¹ de sais sódicos ou potássicos, associados a diferentes ânions acompanhantes e pH

Cultivar	Tratamento	Cálcio				Magnésio			
		Folhas	Pecíolos	Caule	Raízes	Folhas	Pecíolos	Caule	Raízes
mg									
Diamante	Testemunha	158,251	24,072	51,721	26,966	24,583	2,666	7,068	4,843
Negro	Na ⁺ NO ₃ ⁻	104,090	9,798	17,831	10,742	13,350	1,452	3,576	3,490
	Cl ⁻ (pH 5,5)	121,066	13,556	20,951	13,470	14,991	1,685	4,085	3,800
	Cl ⁻ (pH 8,5)	58,086	6,630	15,923	3,303	7,523	0,874	2,993	1,205
	HCO ₃ ⁻	59,817	4,936	9,621	22,338	8,507	0,829	1,445	0,949
	K ⁺ NO ₃ ⁻	118,391	10,702	29,797	12,323	14,939	1,594	3,889	1,652
	Cl ⁻	97,144	9,700	26,865	14,491	13,428	1,070	3,650	2,311
	HCO ₃ ⁻	72,198	8,818	16,072	19,168	9,513	1,213	2,270	1,587
Média Trat. Salinos		90,113	9,163	19,580	13,691	11,750	1,245	3,130	2,142
Média Geral ^{1/}		98,630b	11,027b	23,598b	15,350a	13,354b	1,423b	3,622b	2,480a
Testemunha x soluções salinas ²		62,800**	14,487**	31,532**	11,544**	12,128**	1,359**	3,915**	2,545**
	Na ⁺ vs. K ⁺	-0,920	-0,310	-8,110**	0,190	-0,344	0,030	-0,235	0,896*
	NO ₃ ⁻ vs. Cl ⁻ + HCO ₃ ⁻ d/Na ⁺	24,434*	1,424	2,332	-2,295	3,010	0,322	0,735	1,505**
	pH d/NaCl	62,981**	6,926**	5,028	10,168*	7,468**	0,811**	1,091*	2,595**
	Cl ⁻ vs. HCO ₃ ⁻ d/Na ⁺	-1,732	1,694	6,302	-19,035**	-0,985	0,045	1,548**	0,255
	NO ₃ ⁻ vs. Cl ⁻ + HCO ₃ ⁻ d/K ⁺	33,721**	1,443	8,329**	-4,506	3,469*	0,452*	0,929*	-0,297
	Cl ⁻ vs. HCO ₃ ⁻ d/K ⁺	24,945*	0,882	10,793**	-4,677	3,915*	-0,142	1,380**	0,724
OPNS 331	Testemunha	235,029	36,508	56,822	21,940	30,118	3,908	8,061	6,094
	Na ⁺ NO ₃ ⁻	141,780	14,242	24,441	7,316	17,617	2,049	4,959	2,263
	Cl ⁻ (pH 5,5)	136,437	12,225	31,306	9,578	18,180	1,717	5,503	3,004
	Cl ⁻ (pH 8,5)	95,951	10,358	23,030	4,312	12,309	1,697	4,119	1,434
	HCO ₃ ⁻	100,570	10,854	12,770	34,322	14,244	1,699	1,797	1,212
	K ⁺ NO ₃ ⁻	119,028	21,128	39,859	14,089	15,316	2,737	5,273	2,321
	Cl ⁻	110,883	15,604	29,192	11,031	14,283	1,850	4,153	1,888
	HCO ₃ ⁻	87,576	9,763	21,602	13,854	12,981	1,346	2,771	1,721
Média Trat. Salinos		113,175	13,453	26,029	13,500	14,990	1,871	4,082	1,978
Média Geral ^{1/}		128,407a	16,335a	29,878a	14,555a	16,881a	2,125a	4,580a	2,492a
Testemunha x soluções salinas ²		118,983**	22,539**	30,294**	6,908*	14,681**	2,008**	3,985**	4,025**
	Na ⁺ vs. K ⁺	20,433**	-3,058**	-7,379**	4,080	2,487*	-0,156	0,020	0,183
	NO ₃ ⁻ vs. Cl ⁻ + HCO ₃ ⁻ d/Na ⁺	30,794**	3,096**	2,072	-8,755**	2,706	0,345	1,153**	0,380
	pH d/NaCl	40,486**	1,867	8,276*	5,266	5,870**	0,019	1,384**	1,570*
	Cl ⁻ vs. HCO ₃ ⁻ d/Na ⁺	-4,619	-0,496	10,260**	-30,009**	-1,935	-0,001	2,322**	0,222
	NO ₃ ⁻ vs. Cl ⁻ + HCO ₃ ⁻ d/K ⁺	19,799	8,444**	14,461**	1,647	1,684	1,139**	1,811**	0,517
	Cl ⁻ vs. HCO ₃ ⁻ d/K ⁺	23,307	5,841**	7,590*	-2,823	1,302	0,503*	1,381**	0,167

¹Letras diferentes, na coluna, para cada cátion, nas variáveis que apresentaram homogeneidade de variâncias, indicam diferenças estatisticamente significativas a 5% pelo teste F para os cultivares em estudo; ² *, **: Significativos a 5 e 1%, respectivamente, pelo teste F.

Em geral, o cultivar OPNS 331 foi capaz de acumular mais cálcio e magnésio que o Diamante Negro (Tabela 5), tendo sido o mesmo observado para potássio nas folhas (Tabela 4), o que pode ser um indicativo de maior tolerância a sais do OPNS 331 em relação ao Diamante Negro. Monte *et al.* (2004), estudando a tolerância à salinidade de dois cultivares de bananeira, destacam que o grau de tolerância pode estar relacionado à capacidade de maior acumulação de potássio, cálcio, magnésio e

enxofre e ao menor acúmulo de sódio nos tecidos foliares das plantas.

As folhas foram os órgãos que mais acumularam cálcio e magnésio em relação aos pecíolos, caule e raízes.

Ao avaliar o efeito dos ânions, em geral, esses não influíram significativamente nos teores de cálcio e magnésio nas partes das plantas estudadas nas duas variedades (Contrastes 3, 5, 6 e 7 – Tabela 3), o mesmo sendo observado para os conteúdos acumulados (Con-

Tabela 6. Relação Na/K em folhas, pecíolos, caule e raízes de dois cultivares de feijoeiro submetidos a soluções nutritivas com 60 mmol L⁻¹ de sais sódicos ou potássicos, associados a diferentes ânions acompanhantes e pH

Cultivar	Tratamento	Relação Na/K			
		Folhas	Pecíolos	Caule	Raízes
		mg mg ⁻¹			
Diamante	Testemunha	0,0258	0,0316	0,0587	0,0230
Negro	Na ⁺ NO ₃ ⁻	0,3870	0,6638	2,0685	1,5278
	Cl ⁻ (pH 5,5)	0,4487	0,7983	1,7775	1,6543
	Cl ⁻ (pH 8,5)	0,3367	0,6736	1,9305	3,7737
	HCO ₃ ⁻	0,0797	0,4993	1,3579	3,3604
	K ⁺ NO ₃ ⁻	0,0097	0,0145	0,0235	0,0172
	Cl ⁻	0,0094	0,0126	0,0208	0,0161
	HCO ₃ ⁻	0,0148	0,0130	0,0315	0,0252
	Média Trat. Salinos	0,1837	0,3822	1,0300	1,4821
	Média Geral ^{1/}	0,1640a	0,3383a	0,9086a	1,2997a
Testemunha x soluções salinas ²		-0,132**	-0,302**	-0,821**	-1,077**
	Na ⁺ vs. K ⁺	0,294**	0,640**	1,709**	2,161**
	NO ₃ ⁻ vs. Cl ⁻ + HCO ₃ ⁻ d/Na ⁺	0,099**	0,007	0,380**	-1,402**
	pH d/NaCl	0,112**	0,125**	-0,153*	-2,119**
	Cl ⁻ vs. HCO ₃ ⁻ d/Na ⁺	0,257**	0,174**	0,573**	0,413
	NO ₃ ⁻ vs. Cl ⁻ + HCO ₃ ⁻ d/K ⁺	-0,002	0,002	-0,003	-0,003
	Cl ⁻ vs. HCO ₃ ⁻ d/K ⁺	-0,005	0,000	-0,011	-0,009
OPNS 331	Testemunha	0,0294	0,0351	0,0562	0,0245
	Na ⁺ NO ₃ ⁻	0,3843	0,6644	1,5602	1,2833
	Cl ⁻ (pH 5,5)	0,2606	0,7355	1,7515	1,7971
	Cl ⁻ (pH 8,5)	0,3127	0,6631	1,3677	3,3887
	HCO ₃ ⁻	0,0473	0,4025	1,1637	5,1755
	K ⁺ NO ₃ ⁻	0,0101	0,0121	0,0351	0,0168
	Cl ⁻	0,0105	0,0121	0,0305	0,0169
	HCO ₃ ⁻	0,0154	0,0166	0,0306	0,0227
	Média Trat. Salinos	0,1487	0,3580	0,8485	1,6716
	Média Geral ^{1/}	0,1338b	0,3177a	0,7494b	1,4657a
Testemunha x soluções salinas ²		-0,092**	-0,272**	-0,706**	-1,361**
	Na ⁺ vs. K ⁺	0,219**	0,587**	1,460**	2,733**
	NO ₃ ⁻ vs. Cl ⁻ + HCO ₃ ⁻ d/Na ⁺	0,177**	0,064	0,133*	-2,170**
	pH d/NaCl	-0,052	0,072	0,384**	-1,592**
	Cl ⁻ vs. HCO ₃ ⁻ d/Na ⁺	0,265**	0,261**	0,204**	-1,787**
	NO ₃ ⁻ vs. Cl ⁻ + HCO ₃ ⁻ d/K ⁺	-0,003	-0,002	0,005	-0,003
	Cl ⁻ vs. HCO ₃ ⁻ d/K ⁺	-0,005	-0,005	0,000	-0,006

¹Letras diferentes, na coluna, para cada cátion, nas variáveis que apresentaram homogeneidade de variâncias, indicam diferenças estatisticamente significativas a 5% pelo teste F para os cultivares em estudo; ² *, **: Significativos a 5 e 1%, respectivamente, pelo teste F.

trastes 3, 5, 6 e 7 – Tabela 5). Nota-se que os sais de nitrato melhoraram a acumulação de Ca nas folhas, podendo ter influenciado na elevação do Mg acumulado. Os teores de Ca e Mg foram diferentes com o emprego de sais de Na ou de K (Contraste 2 – Tabela 3), enquanto que seus conteúdos nas diferentes partes da plantas variaram segundo o ânion acompanhante (Contraste 1 – Tabela 5). Quando o sal utilizado foi o NaCl, o pH de 8,5 promoveu reduções no acúmulo de cálcio e magnésio nas partes das plantas de maneira significativa (Con-

traste 4 – Tabela 5), provavelmente pela precipitação desses elementos no valor mais elevado de pH, reduzindo a capacidade das plantas de absorvê-los e/ou dificultando a manutenção da eletronegatividade no interior das células sob condição alcalina.

Quando cultivadas em solução nutritiva, as plantas dependem totalmente dos sais fornecidos nas soluções, sendo interessante ressaltar que em solos existem outros meios de aquisição de elementos, pelo fornecimento a partir da superfície de troca dos constituintes dos

Tabela 7. Relação Na/Ca em folhas, pecíolos, caule e raízes de dois cultivares de feijoeiro submetidos a soluções nutritivas com 60 mmol L⁻¹ de sais sódicos ou potássicos, associados a diferentes ânions acompanhantes e pH

Cultivar	Tratamento	Relação Na/Ca			
		Folhas	Pecíolos	Caule	Raízes
		mg mg ⁻¹			
Diamante	Testemunha	0,0287	0,0527	0,0954	0,0833
Negro	Na ⁺ NO ₃ ⁻	0,5054	2,1061	2,0967	2,1116
	Cl ⁻ (pH 5,5)	0,6112	1,6701	1,9809	2,3715
	Cl ⁻ (pH 8,5)	0,4702	1,8409	2,6644	5,2950
	HCO ₃ ⁻	0,0885	2,2839	3,1023	0,1434
	K ⁺ NO ₃ ⁻	0,0320	0,0938	0,1161	0,0971
	Cl ⁻	0,0357	0,0701	0,1296	0,1050
	HCO ₃ ⁻	0,0241	0,0742	0,1171	0,0339
	Média Trat. Salinos	0,2524	1,1627	1,4582	1,4511
	Média Geral ^{1/}	0,2245a	1,0240a	1,2878a	1,2801a
Testemunha x soluções salinas ²		-0,187**	-0,997**	-1,162**	-0,727**
	Na ⁺ vs. K ⁺	0,371**	1,941**	2,272**	1,464**
	NO ₃ ⁻ vs. Cl ⁻ + HCO ₃ ⁻ d/Na ⁺	0,115**	0,174	-0,486**	-0,492
	pH d/NaCl	0,141**	-0,171	-0,684**	-2,924**
	Cl ⁻ vs. HCO ₃ ⁻ d/Na ⁺	0,382**	-0,443**	-0,438**	5,152**
	NO ₃ ⁻ vs. Cl ⁻ + HCO ₃ ⁻ d/K ⁺	0,002	0,022	-0,007	0,028
	Cl ⁻ vs. HCO ₃ ⁻ d/K ⁺	0,012	-0,004	0,013	0,071
OPNS 331	Testemunha	0,0237	0,0544	0,1007	0,1284
	Na ⁺ NO ₃ ⁻	0,5337	1,6424	1,9270	2,4624
	Cl ⁻ (pH 5,5)	0,4413	2,1316	1,9260	3,4036
	Cl ⁻ (pH 8,5)	0,4074	1,8892	1,8713	4,7001
	HCO ₃ ⁻	0,0605	1,6479	3,0442	0,1224
	K ⁺ NO ₃ ⁻	0,0303	0,0737	0,1189	0,1370
	Cl ⁻	0,0270	0,0781	0,1244	0,1800
	HCO ₃ ⁻	0,0267	0,0850	0,1105	0,1295
	Média Trat. Salinos	0,2181	1,0783	1,3032	1,5907
	Média Geral ^{1/}	0,1938b	0,9503a	1,1529b	1,4079a
Testemunha x soluções salinas ²		-0,163**	-0,889**	-1,108**	-0,944**
	Na ⁺ vs. K ⁺	0,317**	1,728**	2,181**	1,847**
	NO ₃ ⁻ vs. Cl ⁻ + HCO ₃ ⁻ d/Na ⁺	0,231**	-0,247**	-0,354**	-0,280
	pH d/NaCl	0,034	0,242	0,055	-1,297**
	Cl ⁻ vs. HCO ₃ ⁻ d/Na ⁺	0,347**	0,241	-1,173**	4,578**
	NO ₃ ⁻ vs. Cl ⁻ + HCO ₃ ⁻ d/K ⁺	0,003	-0,008	0,001	-0,018
	Cl ⁻ vs. HCO ₃ ⁻ d/K ⁺	0,000	-0,007	0,014	0,051

¹Letras diferentes, na coluna, para cada cátion, nas variáveis que apresentaram homogeneidade de variâncias, indicam diferenças estatisticamente significativas a 5% pelo teste F para os cultivares em estudo; ² *, **: Significativos a 5 e 1%, respectivamente, pelo teste F.

solos. Assim, estudando plantas de meloeiro em diferentes solos do semiárido irrigadas com soluções de salinidade crescente, Silva *et al.* (2008) observaram aumento no acúmulo de cálcio, magnésio, sódio e potássio, apesar das soluções conterem apenas sais de sódio e cálcio. Nesse caso, os solos funcionaram como fontes dos elementos não fornecidos, por isso foram verificados aumentos no acúmulo dos elementos. O mesmo não ocorre ao se trabalhar com solução nutritiva, onde não existem

minerais fornecedores de nutrientes para as plantas, recebendo estas apenas os elementos disponibilizados pela solução.

Entretanto, mais importante que os teores e conteúdos dos elementos nas partes das plantas são as relações entre eles. É interessante que as plantas tenham a capacidade de manter baixas proporções de sódio em relação ao potássio, cálcio e magnésio, já que estes são nutrientes e o sódio, em geral, é tóxico. Estudos têm associado essas

Tabela 8. Relação Na/Mg em folhas, pecíolos, caule e raízes de dois cultivares de feijoeiro submetidos a soluções nutritivas com 60 mmol L⁻¹ de sais sódicos ou potássicos, associados a diferentes ânions acompanhantes e pH

Cultivar	Tratamento	Relação Na/Mg			
		Folhas	Pecíolos	Caule	Raízes
mg mg ⁻¹					
Diamante	Testemunha	0,1872	0,4893	0,6998	0,4980
Negro	Na ⁺ NO ₃ ⁻	3,9384	14,1419	10,4568	6,8833
	Cl ⁻ (pH 5,5)	5,0054	13,7764	10,2358	8,6545
	Cl ⁻ (pH 8,5)	3,6226	13,7497	13,9478	15,2231
	HCO ₃ ⁻	0,6204	13,5669	20,9980	3,4044
	K ⁺ NO ₃ ⁻	0,2553	0,6343	0,8822	0,7264
	Cl ⁻	0,2601	0,6553	0,9587	0,6510
	HCO ₃ ⁻	0,1911	0,5395	0,8391	0,4129
Média Trat. Salinos		1,9848	8,1520	8,3312	5,1365
Média Geral ^{1/}		1,7601a	7,1942a	7,3773a	4,5567a
Testemunha x soluções salinas ²		-1,525**	-6,730**	-6,682**	-2,957**
	Na ⁺ vs. K ⁺	2,953**	13,219**	13,030**	5,717**
	NO ₃ ⁻ vs. Cl ⁻ + HCO ₃ ⁻ d/Na ⁺	0,856**	0,444	-4,604**	-2,211**
	pH d/NaCl	1,383**	0,027	-3,712**	-6,659**
	Cl ⁻ vs. HCO ₃ ⁻ d/Na ⁺	3,002**	0,183	-7,050**	11,819**
	NO ₃ ⁻ vs. Cl ⁻ + HCO ₃ ⁻ d/K ⁺	0,030	0,037	-0,097	0,194
	Cl ⁻ vs. HCO ₃ ⁻ d/K ⁺	0,069	0,116	0,120	0,238
OPNS 331	Testemunha	0,1830	0,5185	0,7099	0,4197
	Na ⁺ NO ₃ ⁻	4,2897	11,3114	9,4610	6,8760
	Cl ⁻ (pH 5,5)	3,2792	15,0793	11,2219	9,6154
	Cl ⁻ (pH 8,5)	3,1718	11,3091	10,4970	14,0483
	HCO ₃ ⁻	0,4314	10,4396	22,2774	3,3853
	K ⁺ NO ₃ ⁻	0,2392	0,5676	0,8844	0,7345
	Cl ⁻	0,2073	0,6596	0,8403	0,8488
	HCO ₃ ⁻	0,1851	0,6178	0,8690	0,4373
Média Trat. Salinos		1,6862	7,1406	8,0073	5,1351
Média Geral ^{1/}		1,4983b	6,3129b	7,0951a	4,5457a
Testemunha x soluções salinas ²		-1,256**	-5,927**	-6,882**	-3,230**
	Na ⁺ vs. K ⁺	2,456**	11,662**	13,456**	5,952**
	NO ₃ ⁻ vs. Cl ⁻ + HCO ₃ ⁻ d/Na ⁺	1,996**	-0,965	-5,204**	-2,140**
	pH d/NaCl	0,107	3,770**	0,725	-4,433**
	Cl ⁻ vs. HCO ₃ ⁻ d/Na ⁺	2,740**	0,870	-11,780**	10,663**
	NO ₃ ⁻ vs. Cl ⁻ + HCO ₃ ⁻ d/K ⁺	0,043	-0,071	0,030	0,092
	Cl ⁻ vs. HCO ₃ ⁻ d/K ⁺	0,022	0,042	-0,029	0,411

¹Letras diferentes, na coluna, para cada cátion, nas variáveis que apresentaram homogeneidade de variâncias, indicam diferenças estatisticamente significativas a 5% pelo teste F para os cultivares em estudo; ² *, **: Significativos a 5 e 1%, respectivamente, pelo teste F.

relações à tolerância a sais por plantas de bananeira (Monte *et al.*, 2004), milho (Ferreira *et al.*, 2005) e sorgo (Aquino *et al.*, 2007), dentre outras.

No tratamento testemunha os valores de relação Na/K foram inferiores a 0,06 mg mg⁻¹ em todas as partes das plantas dos dois cultivares estudados. Houve incrementos nesta relação com o acréscimo de sais na

solução nutritiva. O valor máximo de 5,2 mg mg⁻¹ foi alcançado nas raízes do cultivar OPNS 331 submetidas à solução de NaHCO₃ (Tabela 6). A síntese de proteínas pode ser reduzida por elevados valores da relação Na/K, além de ocorrer inativação de enzimas, o que influiu sobre a produtividade da cultura (Taiz & Zeiger, 2002).

O acréscimo de sais sódicos à solução nutritiva elevou significativamente a relação Na/K em todas as partes das plantas dos dois cultivares estudados (Tabela 6, Contraste 2). Os ânions só influíram nessa relação quando foram utilizados sais de sódio (Contrastes 3 e 5).

Estudando a concentração de potássio e sódio na seiva xilemática de variedades de arroz sob estresse salino, Roshandel (2007) verificou maior capacidade de absorção de potássio da variedade tolerante com a manutenção de menor relação Na/K⁺ e maior seletividade pelo potássio medido na seiva das plantas tolerantes em relação às sensíveis, possibilitando melhores condições de desenvolvimento e produtividade das primeiras sob estresse salino.

O cultivar OPNS 331 apresentou menor relação Na/K nas folhas e caule em relação ao Diamante Negro. Em ambos os cultivares essa relação decresceu na sequência: raízes > caule > pecíolos > folhas. Os cultivares Diamante Negro e OPNS 331 apresentaram relações médias Na/K oito e 11 vezes maiores nas raízes do que nas folhas. Tais resultados são diferentes dos detectados nas plantas do tratamento testemunha, que tiveram baixas relações Na/K em todas as partes das plantas, sendo a maior encontrada no caule e a menor nas raízes (Tabela 6).

A relação Na/Ca nas partes das plantas dos dois cultivares também foi alterada significativamente pelo acréscimo de sais na solução nutritiva (Tabela 7), com efeito positivo dos sais de sódio (Contraste 2). O mesmo foi observado para a relação Na/Mg (Tabela 8). Os ânions acompanhantes dos sais de potássio não alteraram as duas relações, como era de se esperar, mas os ânions dos sais de sódio alteraram as relações Na/Ca e Na/Mg em algumas partes das plantas e em outras não (Contrastes 3 e 5 – Tabelas 7 e 8). O fornecimento de NaCl em diferentes valores de pH afetou as relações Na/Ca e Na/Mg de modo mais pronunciado no cultivar Diamante Negro do que no OPNS 331, mas com alternância de resposta, algumas vezes essas relações foram superiores no NaCl de pH 5,5 e outras no de 8,5.

Maiores relações Na/Ca foram observadas no caule e nas raízes (Tabela 7) e Na/Mg no caule e nos pecíolos (Tabela 8), sendo as folhas os órgãos com menores valores para essas duas relações em ambos os cultivares, fator positivo por sua função na fotossíntese e produtividade da cultura. Aquino *et al.* (2007) defendem que maiores teores de potássio nas folhas e de sódio nos colmos de plantas de sorgo foram responsáveis pela maior tolerância ao estresse salino.

Em geral, foi possível observar a superioridade do cultivar OPNS 331 quanto à tolerância à salinidade em relação ao Diamante Negro, sendo o primeiro capaz de manter menores proporções de sódio em relação aos nutrientes potássio, cálcio e magnésio nas plantas estressadas (Tabelas 6, 7 e 8).

Por outro lado, verificou-se influência significativa da salinidade em todas as variáveis analisadas dos dois cultivares. Houve diferença entre sais de sódio e potássio nas alterações observadas. O pH influiu no efeito salino em alguns casos e, os ânions acompanhantes tiveram pouca influência nas respostas das plantas, indicando que alterações de resultados, muitas vezes atribuídas aos íons bicarbonato e carbonato, em detrimento ao cloreto, podem advir do pH e não do ânion acompanhante.

CONCLUSÕES

O cultivar de feijoeiro OPNS 331 foi mais tolerante à salinidade do que o Diamante Negro, sendo mais indicado para cultivo em ambiente salino.

Os efeitos prejudiciais da salinidade podem ser hierarquizados segundo a ordem: sódio > alcalinidade > ânion acompanhante.

Sob salinidade, os teores de sódio das plantas dos dois cultivares foram menores nas folhas e maiores em órgãos menos ativos fotossinteticamente.

REFERÊNCIAS

- Aquino A J S de, Lacerda C F, Bezerra M A, Gomes Filho E & Costa R N T (2007) Crescimento, partição de matéria seca e retenção de Na⁺, K⁺ e Cl⁻ em dois genótipos de sorgo irrigados com águas salinas. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 31:961-971.
- Bataglia OC, Furlani AMC, Teixeira JPF, Furlani PR. & Gallo JR (1983) Métodos de análise química de plantas. Campinas, Instituto Agronômico. 48 p. (Boletim Técnico 78).
- Bhvare VN & Nimbalkar JD (1984) Salt stress on growth and mineral nutrition of French beans. Plant and Soil, 80:91-98.
- Broetto F, Lima GPP & Brasil OG (1995). Tolerância à salinidade em feijão (*Phaseolus vulgaris* L). Scientia Agrícola, Piracicaba, 52:164-166.
- Costa JM, Dantas JP & Alves AGC (1999) Tolerância de genótipos de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L) à salinidade do solo. Agropecuária Técnica, 20:28-34.
- Costa PHA, Silva JV, Bezerra MA, Enéas Filho J, Prisco JT & Gomes Filho E (2003) Crescimento e níveis de solutos orgânicos e inorgânicos em cultivares de *Vigna unguiculata* submetidas à salinidade. Revista Brasileira de Botânica, 26:289-297.
- Dantas JP et al (2002) Avaliação de genótipos de caupi sob salinidade. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, 6:425-430.
- Fageria NK (1991) Tolerance of rice cultivar to salinity. Pesquisa Agropecuária Brasileira, 26:281-288.
- Ferreira RG, Távora FJAF & Hernandez FFF (2001) Distribuição da matéria seca e composição química das raízes, caule e folhas de goiabeira submetidas a estresse salino. Pesquisa Agropecuária Brasileira, 36:79-88.
- Ferreira PA, Garcia G de O, Santos DB dos, Oliveira FG de & Neves JCL (2005) Estresse salino em plantas de milho: II – Macronutrientes catiônicos e suas relações com o sódio. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, 9:11-15.
- Hajrasuliha S (1980) Accumulation and toxicity of chloride in bean plants. Plant and Soil, 55:133-138.

- Jeschke WD & Wolf O (1988) Effect of NaCl salinity on growth, development, ion distribution, and ion translocation in castor bean (*Ricinus communis* L.). *Journal of Plant Physiology*, 32:45-53.
- Levitt J (1972) Responses of plants to environmental stress. New York, Academic Press. 697p.
- Lindsay WL (1979) Chemical equilibria in soils. New York, Wiley-Interscience. 449 p.
- Marschner H (1995) Mineral nutrition of higher plants, 2 ed. San Diego, Academic Press. 889p.
- Monte WB, Hernandez FFF, Lacerda CF de & Ness RLL. (2004) Crescimento e teores minerais em plantas jovens de duas cultivares de bananeira submetidas a estresse salino. *Revista Ciência Agronômica*, 35:157-164.
- Munns R (2002) Comparative physiology of salt and water stress. *Plant Cell Environmental*, 25:239-250.
- Orcutt DM & Nilsen ET (2002) Physiology of plants under stress – Soil and biotic factors. New York, John Wiley. 398p.
- Popova OV & Golldack D (2007) In the halotolerant *Lobularia maritima* (Brassicaceae) salt adaptation correlates with activation of the vacuolar H⁺-ATPase and the vacuolar Na⁺/H⁺ antiporter. *Journal of Plant Physiology*, 164:1278-1288.
- Rosenthal P (2007) Xylem sap analysis reveals new facts of salt tolerance in rice genotypes. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 19:185-192.
- Ruiz HA (1997) Relações molares de macronutrientes em tecido vegetal como base para a formulação de soluções nutritivas. *Revista Ceres*, 44:533-546.
- Santos PR dos (2006) Germinação, vigor e crescimento de duas cultivares de feijoeiro em soluções salinas. Dissertação de Mestrado. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa. 48 p.
- Saqib M, Akhtar J & Qureshi RH (2005) Na⁺ exclusion and salt resistance of wheat (*Triticum aestivum*) in saline-waterlogged conditions are improved by the development of adventitious nodal roots and cortical root aerenchyma. *Plant Science*, 169:125-130.
- Silva M de O, Freire MBG dos S, Mendes MAS, Freire FJ, Sousa CES de & Góes GB de (2008) Crescimento de meloeiro e acúmulo de nutrientes na planta sob irrigação com águas salinas. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 12:593-605.
- Slama F (1986) Effet du chlorure de sodium sur la croissance et la nutrition minérale de six espèces de plantes cultivées. *Agronomía Tropical*, 41:21-26.
- Taiz L & Zeiger E (2002) Plant physiology. Sunderland, Sinauer. 690p.
- Viana AP, Bruckner CH, Martinez HEP, Huaman CAM y, Mosquim PR (2001) Teores de Na, K, Mg e Ca em porta-enxertos de videira em solução salina. *Scientia Agricola*, 58:187-191.