

PATRÍCIA RIBEIRO DOS SANTOS

**GERMINAÇÃO, VIGOR E CRESCIMENTO DE DUAS
CULTIVARES DE FEIJOEIRO EM SOLUÇÕES SALINAS**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do título de “*Magister Scientiae*”.

VIÇOSA
MINAS GERAIS - BRASIL

2006

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e Classificação
da Biblioteca Central da UFV**

T

S237g
2006

Santos, Patrícia Ribeiro dos, 1973-

Germinação, vigor e crescimento de duas cultivares de feijoeiro em soluções salinas/ Patrícia Ribeiro dos Santos. – Viçosa : UFV, 2006. x, 48f. : il. ; 29 cm.

Inclui apêndice.

Orientador: Hugo Alberto Ruiz,

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Viçosa.

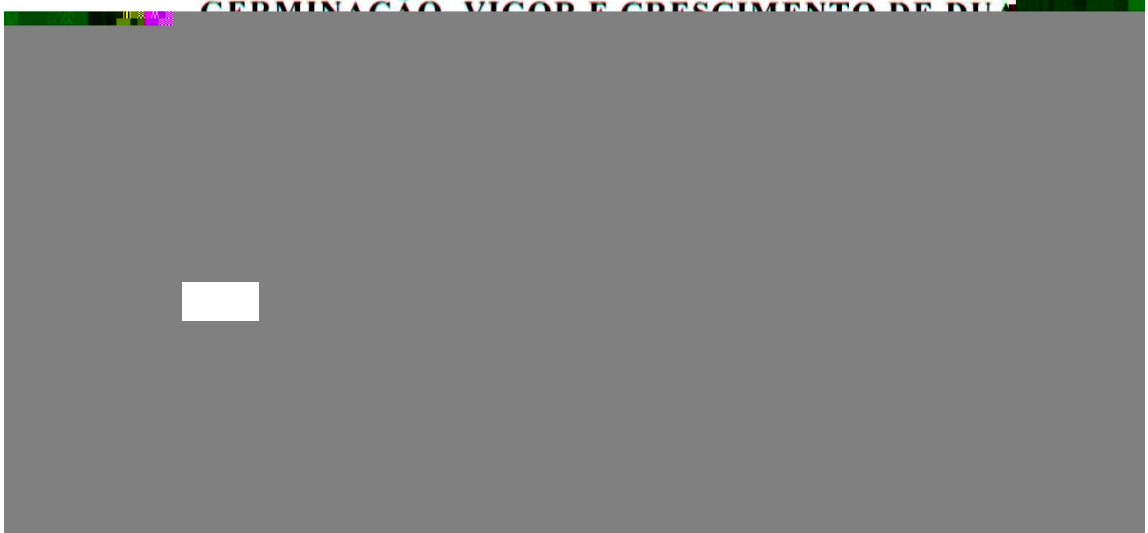
Referências bibliográficas: f. 39-43.

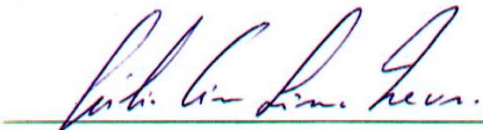
1. Feijão – Semente – Viabilidade. 2. Germinação. 3. Plantas – Efeito do sal. 4. Plantas e solo. 5. Regulação osmótica. I. Universidade Federal de Viçosa. II. Título.

CDD 22.ed. 635.65221

PATRÍCIA RIBEIRO DOS SANTOS

GERMINAÇÃO, VIGOR E CRESCIMENTO DE PLANTAS





Prof. Júlio César Lima Neves
(Conselheiro)


Prof. Marília Contin Ventrella
(Conselheira)


Prof. Maria Betânia G.S. Freire


Prof. Paulo Afonso Ferreira


Prof Hugo Alberto Ruiz
(Orientador)

DEDICO

Com gratidão, aos meus queridos educadores, pela atenção e amizade em todos os momentos. Em homenagem a todos que contribuíram com minha formação política, intelectual e humanista.

OFEREÇO

Às famílias brasileiras sem terra, sem teto, sem saúde, sem educação, mas que não perderam a esperança de um futuro melhor.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Viçosa (UFV) e ao Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, pela oportunidade de minha formação.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão de bolsa de estudos.

Ao orientador Professor Hugo Alberto Huiz, do Departamento de Solos, pela amizade e valiosa orientação.

Na oportunidade, agradeço a todos que sempre estiveram ao meu lado em todos os momentos e que, de alguma maneira, contribuíram para a realização de mais esta etapa da minha vida.

BIOGRAFIA

PATRÍCIA RIBEIRO DOS SANTOS, filha de Evameire Ribeiro dos Santos, nasceu em Jaboatão dos Guararapes, Pernambuco, em 26 de dezembro de 1973.

Em agosto de 1997 ingressou na Universidade Federal Rural de Pernambuco, onde, em agosto de 2003, recebeu o título de Engenheira-Agrônoma. Durante o período de julho de 2000 a agosto de 2003 desenvolveu trabalhos de pesquisa na área de Solos como Bolsista de Iniciação Científica/CNPq.

Em março de 2004, ingressou no Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, em nível de Mestrado, pela Universidade Federal de Viçosa, em Minas Gerais.

CONTEÚDO

| | Página |
|---|--------|
| RESUMO | vii |
| ABSTRACT | ix |
| 1. INTRODUÇÃO..... | 1 |
| 2. REVISÃO DE LITERATURA..... | 3 |
| 2.1. A salinidade e as plantas cultivadas | 3 |
| 2.2. Mecanismos de tolerância ao sal..... | 6 |
| 2.3. Natureza e toxidez dos sais..... | 7 |
| 3. MATERIAL E MÉTODOS | 9 |
| 3.1. Germinação e vigor de feijoeiros em soluções salinas de 6 dS/m | 9 |
| 3.2. Germinação, vigor e crescimento de feijoeiros em soluções salinas de 60 mmol/L | 11 |
| 3.3. Crescimento de feijoeiros em soluções salinas de 60 mmol/L após germinação em água deionizada | 12 |

| | |
|--|----|
| 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO | 15 |
| 4.1. Germinação e vigor de feijoeiros em soluções salinas de 6 dS/m | 15 |
| 4.2. Germinação, vigor e crescimento de feijoeiros em soluções salinas de 60 mmol/L | 18 |
| 4.3. Crescimento de feijoeiros em soluções salinas de 60 mmol/L após germinação em água deionizada | 26 |
| 5. CONCLUSÕES | 38 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 39 |
| APÊNDICE..... | 44 |

RESUMO

SANTOS, Patrícia Ribeiro, M.S., Universidade Federal de Viçosa, março de 2006. **Germinação, vigor e crescimento de duas cultivares de feijoeiro em soluções salinas.** Orientador: Hugo Alberto Ruiz. Conselheiros: Júlio César Lima Neves e Marília Contin Ventrella.

O acúmulo de sais nos solos é um evento freqüente em regiões áridas ou semi-áridas, onde a evapotranspiração é elevada e a reduzida precipitação é insuficiente para promover a lixiviação do excesso de sais do perfil do solo. Nessas condições, a produtividade das culturas é reduzida, em resposta a eventuais efeitos osmóticos, à toxicidade de íons específicos presentes na solução do solo ou a um efeito conjunto desses fatores. Com o objetivo de isolar os efeitos decorrentes da presença de concentrações elevadas de sais na solução, verificando respostas a pressão osmótica, sódio, cloreto, bicarbonato e pH, foram realizados três ensaios, utilizando duas cultivares de feijoeiro: Diamante Negro e OPNS 331. Os tratamentos foram constituídos de soluções de NaNO_3 , NaCl , NaHCO_3 , KNO_3 , KCl ou KHCO_3 , além de um tratamento controle, em que as sementes foram germinadas em água deionizada e as plantas crescidas em solução nutritiva normal. No primeiro ensaio, estudou-se a germinação e o

vigor em soluções de 6 dS/m. No segundo, germinação e vigor em soluções de 60 mmol/L e, a seguir, o crescimento em solução nutritiva acrescida dos sais na concentração indicada; 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. No terceiro, as sementes foram germinadas em água deionizada e as plântulas transplantadas para a solução nutritiva com acréscimo de 60 mmol/L dos sais, nos valores de pH indicados. Neste ensaio, houve acréscimo de um tratamento adicional, no qual a solução nutritiva com NaCl teve seu pH elevado a 8,5, para coincidir com o das soluções de bicarbonato. Assim, testou-se o efeito do cloreto de sódio nos dois valores de pH indicados. Analisados os resultados, pôde concluir-se que, nos dois feijoeiros estudados, os efeitos prejudiciais, decorrentes de concentrações salinas e pH elevados, podem ser hierarquizados segundo a ordem: pressão osmótica > alcalinidade > bicarbonato \approx cloreto > sódio.

ABSTRACT

SANTOS, Patrícia Ribeiro, M.S., Universidade Federal de Viçosa, March 2006. **Germination, vigor and growth of two common bean cultivars in salt solutions.** Adviser: Hugo Alberto Ruiz. Committee members: Júlio César Lima Neves and Marília Contin Ventrella.

Salt accumulation in soils is a frequent event in arid or semi-arid regions, where the evapotranspiration is high and the low precipitation is insufficient to promote leaching of the salt excess from the soil profile. Under such conditions the crop yields are reduced in response to osmotic effects, to the toxicity of specific ions in the soil solution or to a joint effect of these factors. Three trials with the common bean cultivars Diamante Negro and OPNS 331 were performed to isolate the effects caused by the high salt concentrations in the solution and to verify responses to osmotic pressure, to sodium, chloride, bicarbonate, and to pH. The treatments consisted of NaNO₃, NaCl, NaHCO₃, KNO₃, KCl, or KHCO₃ solutions, and a control treatment in which the seeds were germinated in deionized water and the plants grown in normal nutrient solution. In the first trial, germination and vigor were studied in 6 dS/m solutions. In the second, germination and vigor were studied in

60 mmol/L solutions and growth in a nutrient solution enriched with salts at the indicated concentration; the pH of the control and the nitrate and chloride solutions was maintained at 5.5, and that of the bicarbonate solutions at 8.5. In the third, the seeds were germinated in deionized water and the plantlets transplanted to a nutrient solution enriched with 60 mmol/L salts at the indicated pH values. In this trial, a treatment was added in which the pH of the nutrient solution with NaCl was raised to 8.5 to coincide with the bicarbonate solutions. The effect of sodium chloride was thus tested at the two indicated pH values. Based on the results, the conclusion was drawn that the harmful effects caused by high salt concentrations and pH, in both common bean varieties under study, can be ranked in the order: osmotic pressure > alkalinity > bicarbonate \approx chloride > sodium.

1. INTRODUÇÃO

O uso intensivo do solo e da água, justificado pela necessidade de aumentar a produção agrícola, freqüentemente tem sido associado à degradação desses recursos naturais. Um dos maiores problemas ambientais decorrentes da escassez e mau uso do solo e da água é a salinização, processo restrigente da produção de alimentos no mundo. Na atualidade, cerca de 23 % da área agrícola mundial encontra-se salinizada, constituindo-se isso num crescente problema, pois a cada ano 10 milhões de hectares de área agricultável são abandonados devido à salinização.

O acúmulo de sais nos solos é comum em regiões áridas ou semi-áridas, como o Nordeste brasileiro, onde a evapotranspiração é elevada e a reduzida precipitação é insuficiente para promover a lixiviação do excesso de sais do perfil do solo. No entanto, esse problema acentua-se nos perímetros irrigados, quando o suprimento de água é feito de forma inadequada, resultando no acúmulo de sais, prejudicando tanto a estrutura do solo quanto o desenvolvimento vegetal.

O efeito osmótico e a toxicidade de íons nas culturas têm sido estudados em diversas partes do mundo. No entanto, a contribuição de cada um desses fatores na restrição do crescimento vegetal exige, ainda,

pesquisas. Trabalhos realizados com utilização de soluções nutritivas normalmente efetuam a germinação das sementes em água, num ambiente notadamente diferenciado daquele encontrado quando a germinação é realizada em solos afetados por sais. Nessas condições, compromete-se também o vigor das plântulas e a posterior adaptação às condições do meio adverso, o que poderá levar a resultados eventualmente divergentes.

O feijão, em particular, apresenta alto valor nutricional, sendo considerado uma das principais fontes de proteínas para a população de baixa renda. Apesar de ser sensível aos sais, o cultivo do feijoeiro é amplamente difundido em regiões semi-áridas do Nordeste brasileiro, inclusive em perímetros irrigados. Várias propostas objetivam a substituição de culturas mais sensíveis por outras mais tolerantes e, ainda, dentro de cada espécie vegetal, o estudo da resposta de diferentes materiais genéticos às condições desfavoráveis, resultantes da elevada concentração salina da solução do solo.

Este trabalho objetivou determinar os efeitos da pressão osmótica, do sódio, do cloreto, do bicarbonato e do pH sobre duas cultivares de feijoeiro, por meio de ensaios de germinação, vigor e crescimento, em solução nutritiva.

2. REVISÃO DE LITERATURA

A salinidade exerce seus efeitos adversos sobre as plantas pelo decréscimo do potencial osmótico, pela toxicidade devido ao excesso de íons específicos absorvidos e/ou por desequilíbrios nutricionais. Esses efeitos variam consoante à espécie vegetal e ao estágio de desenvolvimento, ao tempo de exposição e à concentração salina, como também em conformidade com a natureza dos sais presentes na solução do meio de crescimento das raízes (Levitt, 1972; Mansour & Salama, 2004). A resposta primordial à salinização em plantas é a redução do crescimento, pelo comprometimento de funções fisiológicas e bioquímicas. Em consequência, processos biológicos vitais, como síntese de proteínas, atividade de enzimas, respiração e fotossíntese líquida, são seriamente comprometidas, levando ao colapso celular. Em casos extremos, são traduzidos em sintomas de injúria, como amarelecimento e queima ou necrose das margens das folhas.

2.1. A salinidade e as plantas cultivadas

A sobrevivência das espécies vegetais em ambientes salinos depende, entre outros fatores, do grau de salinização e do tipo de planta

considerada. Dessa forma, os limites de sobrevivência podem variar amplamente, tanto entre espécies quanto entre cultivares de uma mesma espécie (Parida & Das, 2005). Longstreth & Nobel (1979) trabalharam com *Phaseolus vulgaris*, espécie sensível aos sais, com *Gossypium hirsutum*, de mediana tolerância, e com *Atriplex* sp., como espécie tolerante. Essas plantas foram usadas para verificar o efeito da salinidade na anatomia da folha e sua correlação com as trocas gasosas. Os autores observaram que a produção de biomassa seca diminuiu com o incremento de salinidade e a resposta apresentou variação de acordo com a espécie e a tolerância à salinidade. A redução foi menor em atriplex que em algodão e em feijoeiro. Constatou-se, também, maior succulência em atriplex do que em algodão e feijoeiro.

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. 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 & Nilsen, 2002).

O excesso de íons no meio de crescimento das raízes promove competição pelos sítios de absorção, especialmente K, Ca e Mg, levando a deficiências nutricionais na planta (Fageria, 1991). Esse fato foi confirmado por Viana et al. (2001) em videiras cultivadas sob condições salinas. Esses autores constataram que o Na diminuiu a concentração de K, Mg e Ca em tecidos de folhas e caules. Martinez et al. (1996), em

trabalho com plantas de alface crescidas em solução com 80 mmol/L de NaCl, verificaram que tanto a absorção quanto a translocação de P das raízes para as folhas foram severamente afetadas pela salinidade.

Contudo, o maior impacto da salinidade registra-se no crescimento e rendimento das culturas (Marinho et al., 1998; Viana et al., 2001; Hossain et al., 2004). A redução do crescimento, em resposta à salinidade, ocorre principalmente em tecidos jovens, influenciando direta ou indiretamente a divisão e expansão celular nos pontos de crescimento da planta. Essa ocorrência é comum em tecidos fotossinteticamente ativos. Solomon et al. (1986) constataram redução no comprimento das células da epiderme e do ápice radicular de plantas de ervilha expostas a solução nutritiva contendo 120 mmol/L de NaCl. Eles relacionaram esses resultados com a inibição do crescimento das raízes. Desse modo, em plantas estressadas, as variáveis de crescimento (biomassa da parte aérea e das raízes, relação parte aérea/raízes, área foliar e tamanho das plantas) são severamente prejudicadas. Em conseqüência, observa-se a queda da produtividade das culturas e a redução no rendimento dos grãos.

O efeito da salinidade sobre a anatomia e morfologia celular pode ser verificado em tecidos de folhas, de caules e de raízes de diversas espécies de plantas, como trigo, arroz, ervilha, feijão e cevada, entre outras. Geralmente, observa-se: expansão vacuolar (Hajibagheri et al., 1985), alterações nos espaços intercelulares, desorganização dos tecidos e curvatura do ápice radicular (Solomon et al., 1986).

O excesso de sais acelera o processo fenológico, induzindo ao florescimento precoce das plantas, com comprometimento da qualidade e do rendimento dos grãos. Kamkar et al. (2004), trabalhando com plantas de trigo, observaram incremento no abortamento de flores e espiguetas. Isso levou à conseqüente diminuição nas variáveis de rendimento de grãos, como biomassa seca, tamanho e número de grãos/espiga que sofreram redução com o incremento da concentração e do tempo de exposição ao sal.

2.2. Mecanismos de tolerância ao sal

As plantas desenvolvem mecanismos de defesa tanto bioquímicos como moleculares, promovendo adaptações ao estresse salino (Munns, 2002; Orcutt & Nilsen, 2002). Sabe-se que esses mecanismos são de dois tipos: os que reduzem a entrada dos sais na planta (exclusão) e os que minimizam a elevada concentração salina no citoplasma (compartimentalização).

Em condições de baixa salinidade, a planta controla a absorção de sais pela seletividade da membrana celular, mediante o controle de proteínas carreadoras e canais de íons que são responsáveis pelo transporte iônico do meio externo para o citossol e, em seguida, para o xilema das raízes. Desse modo, por exclusão, a planta mantém a homeostase de íons dentro da célula. O uso eficiente da água é outro importante componente no controle da absorção iônica, minimizando seu transporte dentro da planta, principalmente em tecidos jovens. O crescimento vigoroso e/ou reposição contínua de folhas e raízes perdidas constituem outra estratégia que favorece a diluição da concentração dos sais na planta (Ramoliya & Pandey, 2003).

Em ambientes de elevada concentração salina ocorre absorção excessiva de sais pelas plantas. A manutenção da transpiração biológica resulta em aumento da concentração iônica no xilema; contudo, o acúmulo excessivo de íons pode causar distúrbios diversos no metabolismo vegetal e lesões dos tecidos. Para evitar o comprometimento da atividade fotossintética e outros distúrbios bióticos, a planta promove a compartimentalização de íons nos vacúolos das células das folhas mais velhas, protegendo os tecidos mais jovens e preservando a transpiração foliar, além de combater o déficit hídrico celular (Hernández et al., 1999). Os fenômenos de compartimentalização e exclusão foram observados em espécies de *Phaseolus* sob condições salinas por Bayuelo-Jiménez et al. (2002).

A salinidade excessiva exige o ajustamento dos solutos do citossol, para manter o potencial osmótico dentro da célula próximo ao externo, garantindo a manutenção do turgor da planta (Neumann et al., 1988). Esse processo é regulado pela presença de compostos osmoticamente ativos como: solutos orgânicos (açúcares, ácidos orgânicos, prolina e sorbitol, entre outros), e pela compartimentalização de solutos inorgânicos nos vacúolos (Moghaieb et al., 2004).

O feijoeiro é considerado espécie sensível à salinidade. Orcutt & Nilsen (2002) relataram redução de 50 % na produção do feijoeiro, quando crescido em solo salino com condutividade elétrica de 3,5 dS/m no extrato 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 *Vigna unguiculata* em solução com 75 mmol/L de NaCl. Esses autores observaram que o grau de tolerância à salinidade variou de cultivar para cultivar; as mais tolerantes apresentaram maior suculência foliar e índice de esclerofilia.

A salinidade pouco inibiu a germinação de sementes de diversas variedades de feijoeiro, mas reduziu drasticamente o vigor das plântulas (De Paula et al., 1994). Esses autores propuseram a utilização da redução do hipocótilo, quando comparadas plântulas germinadas em soluções salinas e em água, como a determinação mais apropriada na seleção de materiais tolerantes, nos estágios iniciais de crescimento e desenvolvimento.

2.3. Natureza e toxidez dos sais

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, Na₂CO₃ 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 se deve 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, observa-se que o Na está relacionado ao equilíbrio nutricional, por competição nos sítios de absorção. Assim, plantas sob estresse salino podem apresentar baixos conteúdos de nutrientes, como K, Ca e Mg, nos tecidos. A associação com altos valores de Na responde pela redução do crescimento e rendimento das culturas.

O Cl é um micronutriente, mas é absorvido por algumas espécies em quantidades muito elevadas. Considerado praticamente imóvel, apresenta baixa redistribuição das folhas para outros órgãos da planta (Marschner, 1995). Pesquisas relacionadas a esse elemento objetivam estudar problemas relativos às alterações metabólicas, em resposta a concentrações elevadas no meio de cultivo. Levitt (1972) afirma que, em razão de sua elevada taxa de absorção, o Cl pode acumular-se nos tecidos de forma muito rápida. Esse autor indica que seu efeito tóxico pode preceder o do Na, apresentando, eventualmente, danos mais severos que os provocados pelo cátion.

Como o NaCl é o sal mais frequentemente encontrado nos solos afetados por sais, numerosas pesquisas com esse composto têm sido realizadas, em detrimento da atenção dada a outros sais, como Na_2SO_4 , NaHCO_3 , MgSO_4 e CaCl_2 . A toxicidade do NaHCO_3 e do Na_2SO_4 sobre o crescimento de plantas de duas cultivares de alface foi estudada por Bie et al. (2004). Esses autores constataram severo decréscimo das variáveis de crescimento em função da toxicidade de HCO_3^- e do elevado pH. Essa resposta também foi observada por Navarro et al. (2000) em pesquisa realizada com tomate. A presença do HCO_3^- e o elevado pH no meio de cultivo provocaram redução de biomassa, mais acentuada na comparação com outros sais.

NaHCO₃, KNO₃, KCl e de KHCO₃, de condutividade elétrica igual a 6 dS/m (Quadro 1). O ensaio, num arranjo fatorial 2 (1 + 6), foi disposto segundo delineamento experimental em blocos casualizados, com quatro repetições.

Para avaliar a germinação, 80 sementes de cada cultivar, tomadas ao acaso, foram divididas em quatro subamostras de 20 sementes, que foram colocadas para germinar em rolo de papel germitest, umedecido com água deionizada ou com as soluções dos tratamentos, num volume equivalente a 2,5 vezes o peso do papel seco. Os rolos foram mantidos em germinador, regulado a 25 °C, durante cinco dias. Após esse período, contaram-se as plântulas normais, expressando os resultados em bases percentuais. Nessas plântulas, determinou-se o comprimento do hipocótilo, com paquímetro, e a massa da matéria seca, após secagem em estufa de ventilação forçada, a 75 °C.

Os resultados experimentais foram analisados estatisticamente, utilizando o Sistema para Análises Estatísticas e Genéticas (SAEG). Compararam-se as cultivares e os tratamentos salinos. O quadro 2 apresenta o desdobramento dos graus de liberdade dos tratamentos salinos em contrastes ortogonais.

Quadro 1. Características das soluções salinas de 6 dS/m

| Sal | Concentração | | Potencial Osmótico |
|--------------------|--------------|--------|--------------------|
| | g/L | mmol/L | MPa |
| NaNO ₃ | 4,986 | 58,66 | -0.272 |
| NaCl | 3,380 | 57,78 | -0.274 |
| NaHCO ₃ | 6,613 | 78,73 | -0.343 |
| KNO ₃ | 4,796 | 47,49 | -0.230 |
| KCl | 3,368 | 45,21 | -0.225 |
| KHCO ₃ | 6,007 | 60,07 | -0.266 |

Quadro 2. Contrastes analisados, para cada cultivar, nos ensaios 3.1. e 3.2

| Tratamento | Contraste ^{1/} | | | | | |
|--|-------------------------|----|----|----|----|----|
| | C1 | C2 | C3 | C4 | C5 | C6 |
| Testemunha | 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Na ⁺ NO ₃ ⁻ | -1 | 1 | 2 | 0 | 0 | 0 |
| Cl ⁻ | -1 | 1 | -1 | 1 | 0 | 0 |
| HCO ₃ ⁻ | -1 | 1 | -1 | -1 | 0 | 0 |
| K ⁺ NO ₃ ⁻ | -1 | -1 | 0 | 0 | 2 | 0 |
| Cl ⁻ | -1 | -1 | 0 | 0 | -1 | 1 |
| HCO ₃ ⁻ | -1 | -1 | 0 | 0 | -1 | -1 |

^{1/} C1: testemunha vs. soluções salinas. C2: Na⁺ vs. K⁺. C3: NO₃⁻ vs. Cl⁻ + HCO₃⁻ d/Na⁺. C4: Cl⁻ vs. HCO₃⁻ d/Na⁺. C5: NO₃⁻ vs. Cl⁻ + HCO₃⁻ d/K⁺. C6: Cl⁻ vs. HCO₃⁻ d/K⁺.

3.2. Germinação, vigor e crescimento de feijoeiros em soluções salinas de 60 mmol/L

*Neste ensaio, sementes das duas cultivares indicadas foram germinadas em água deionizada ou em soluções de NaNO₃, NaCl, NaHCO₃, KNO₃, KCl e de KHCO₃, de concentração igual a 60 mmol/L (Quadro 3).

Para avaliar a germinação e o vigor, procedeu-se de forma semelhante à indicada no item 3.1. Contudo, as plântulas não foram secadas em estufa, pois foram usadas no ensaio de crescimento, em casa de vegetação. Assim, duas plântulas de cada tratamento e bloco foram selecionadas e transferidas para vasos de 4.000 mL, contendo solução nutritiva específica para feijoeiros (Ruiz, 1997), diluída a ½ força, permanecendo nessas condições por dois dias. Após esse período, os vasos receberam solução nutritiva completa (Ruiz, 1997), acrescida, quando indicado, de 60 mmol/L de NaNO₃, NaCl, NaHCO₃, KNO₃, KCl e KHCO₃.

Quadro 3. Características das soluções salinas de 60 mmol/L

| Sal | Condutividade Elétrica | Potencial Osmótico |
|--------------------|------------------------|--------------------|
| | dS/m | MPa |
| NaNO ₃ | 5,94 | -0.278 |
| NaCl | 6,28 | -0.279 |
| NaHCO ₃ | 4,53 | -0.274 |
| KNO ₃ | 7,05 | -0.275 |
| KCl | 7,43 | -0.278 |
| KHCO ₃ | 5,98 | -0.265 |

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 e mantido próximo a 5,5, adicionando-se solução de hidróxido de lítio, 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 totalizou 27 dias, com renovação da solução nutritiva a cada sete dias.

Terminado o ensaio, coletaram-se separadamente folhas, pecíolos, caules e raízes. Os tecidos vegetais foram secos em estufa de ventilação forçada, a 75 °C, e pesados.

Os resultados experimentais foram analisados estatisticamente, utilizando o Sistema para Análises Estatísticas e Genéticas (SAEG). Compararam-se as cultivares e os tratamentos salinos. O quadro 2 apresenta o desdobramento dos graus de liberdade dos tratamentos salinos em contrastes ortogonais.

3.3. Crescimento de feijoeiros em soluções salinas de 60 mmol/L após germinação em água deionizada

Neste ensaio, sementes das duas cultivares indicadas 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 ½ força, permanecendo nessas condições por dez dias. Após esse período, os vasos receberam solução nutritiva completa (Ruiz, 1997), acrescida, quando indicado, de 60 mmol/L de NaNO₃, NaCl, NaHCO₃, KNO₃, KCl e KHCO₃. Acrescentou-se, no ensaio, um tratamento com 60 mmol/L de NaCl e pH 8,5, para comparar com o NaHCO₃ nas mesmas condições de alcalinidade. O ensaio, num arranjo fatorial 2 (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 e mantido próximo dos valores preestabelecidos e 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 foram avaliadas quanto às características fenológicas, determinando-se a área foliar e a biomassa seca de folhas, pecíolos, caules e raízes. O material vegetal foi moído e submetido à digestão nitroperclórica, 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. Através dos valores de produção de matéria seca e do teor no tecido vegetal, calculou-se o acúmulo desses elementos nas cultivares estudadas.

Os resultados experimentais foram analisados estatisticamente, utilizando o Sistema para Análises Estatísticas e Genéticas (SAEG). Compararam-se as cultivares e os tratamentos salinos. O quadro 4 apresenta o desdobramento dos graus de liberdade dos tratamentos salinos em contrastes.

Quadro 4. Contrastes analisados, para cada cultivar, no ensaio 3.3

| 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/ClNa. C5: Cl⁻ vs. HCO₃⁻ d/Na⁺. C6: NO₃⁻ vs. Cl⁻ + HCO₃⁻ d/K⁺. C7: Cl⁻ vs. HCO₃⁻ d/K⁺.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Germinação e vigor de feijoeiros em soluções salinas de 6 dS/m

Os valores médios da porcentagem de plântulas normais (PPN), do comprimento do hipocótilo (CH) e da produção de matéria seca das plântulas (PMSP) são apresentados no quadro 5. A comparação da testemunha com os tratamentos que receberam soluções salinas permite observar que a PPN foi menos afetada que o CH e a PMSP; inclusive, no caso da cultivar OPNS 331 (OPNS), a presença de sais incrementou a PPN. Esses resultados coincidem com os apresentados por De Paula et al. (1994), para feijoeiros, e por Braccini et al. (1996), para soja, germinados em solução de NaCl.

Comparando as duas cultivares, as diferenças observadas em CH e PMSP (Quadro 5) devem ser atribuídas mais a características intrínsecas que a respostas diferenciadas aos sais. Considerando os valores da testemunha e a média dos tratamentos salinos, a redução do hipocótilo foi de 40 e 39 % para Diamante Negro (DN) e OPNS, respectivamente, a despeito da significância entre cultivares para os materiais estudados.

A mesma consideração pode ser indicada para a PMSP. A redução, em relação à testemunha, foi de 43 e 44 % para DN e OPNS, respectivamente (Quadro 5). Poderia, em consequência, considerar-se que há resposta diferenciada aos sais. No entanto, na comparação das médias gerais (Quadro 5), verifica-se que a PMSP da OPNS foi 3 % menor que a da DN, reforçando a tese de que as diferenças entre cultivares correspondem mais às suas características genéticas.

Quadro 5. Porcentagem de plântulas normais (PPN), comprimento do hipocótilo (CH) e produção de matéria seca de plântulas (PMSP) de duas cultivares de feijoeiro germinadas em soluções salinas de 6 dS/m

| Cultivar | Tratamento | PPN | CH | PMSP |
|----------------|--|-------|-------|-------|
| | | % | mm | mg |
| Diamante Negro | Testemunha | 85,0 | 66,8 | 54,6 |
| | Na ⁺ NO ₃ ⁻ | 83,8 | 39,3 | 35,2 |
| | Cl ⁻ | 82,5 | 37,5 | 31,3 |
| | HCO ₃ ⁻ | 83,8 | 28,5 | 16,3 |
| | K ⁺ NO ₃ ⁻ | 88,8 | 60,5 | 48,0 |
| | Cl ⁻ | 81,3 | 46,8 | 38,4 |
| | HCO ₃ ⁻ | 83,8 | 29,0 | 18,5 |
| | Média dos Tratamentos Salinos | 84,0 | 40,3 | 31,3 |
| | Média Geral ^{1/} | 84,1a | 44,0a | 34,6a |
| OPNS 331 | Testemunha | 73,8 | 57,8 | 47,1 |
| | Na ⁺ NO ₃ ⁻ | 77,5 | 34,5 | 27,2 |
| | Cl ⁻ | 87,5 | 30,0 | 24,4 |
| | HCO ₃ ⁻ | 85,0 | 23,0 | 16,9 |
| | K ⁺ NO ₃ ⁻ | 81,3 | 49,3 | 37,4 |
| | Cl ⁻ | 91,3 | 40,8 | 31,1 |
| | HCO ₃ ⁻ | 82,5 | 32,3 | 19,9 |
| | Média dos Tratamentos Salinos | 84,2 | 35,0 | 26,2 |
| | Média Geral ^{1/} | 82,7a | 38,2b | 29,2b |

^{1/} Letras diferentes, na coluna, para a média geral, indicam diferenças estatisticamente significativas a 5 % pelo teste F para as cultivares em estudo.

A observação dos valores de PPN, em resposta aos tratamentos impostos, demonstra que não houve diferenças para DN, apresentando-se alguns contrastes significativos para OPNS (Quadro 6), em resposta ao incremento da PPN na presença de sais. Esta cultivar mostrou-se a mais sensível à infecção por fungos ou bactérias, como observado visualmente e ratificado pelo contraste 1, que compara a germinação em água deionizada com aquelas realizadas em soluções salinas (Quadro 6). Verifica-se que resultados semelhantes aos observados para a cultivar OPNS foram relatados por De Paula et al. (1994) e Bayuelo-Jiménez et al. (2002). Esses autores germinaram sementes de feijoeiros em soluções contendo NaCl e concluíram que a presença dos sais, no nível estudado, inibiu o desenvolvimento de microrganismos patogênicos.

Quadro 6. Contrastes médios, comparando a porcentagem de plântulas normais (PPN), o comprimento do hipocótilo (CH) e a produção de matéria seca de plântulas (PMSP) de duas cultivares de feijoeiro germinadas em soluções salinas de 6 dS/m

| Tratamento | Contraste ^{1/} | | | | | |
|----------------|-------------------------|---------|--------|--------|--------|--------|
| | C1 | C2 | C3 | C4 | C5 | C6 |
| Diamante Negro | | | | | | |
| PPN (%) | 1,0 | -1,3 | 0,6 | -1,3 | 6,3 | -2,5 |
| CH (mm) | 26,5** | -10,3** | 6,3** | 9,0** | 22,6** | 17,8** |
| PMSP (g) | 23,3** | -7,4** | 11,4** | 15,0** | 19,6** | 19,9** |
| OPNS 331 | | | | | | |
| PPN (%) | -10,4** | -1,7 | -8,8** | 2,5 | -5,6 | 8,8* |
| CH (mm) | 22,8** | -11,6** | 8,0** | 7,0** | 12,8** | 8,5** |
| PMSP (g) | 20,9** | -6,6** | 6,6** | 7,5** | 11,9** | 11,2** |

^{1/} C1: testemunha vs. soluções salinas. C2: Na⁺ vs. K⁺. C3: NO₃⁻ vs. Cl⁻ + HCO₃⁻ d/Na⁺. C4: Cl⁻ vs. HCO₃⁻ d/Na⁺. C5: NO₃⁻ vs. Cl⁻ + HCO₃⁻ d/K⁺. C6: Cl⁻ vs. HCO₃⁻ d/K⁺.

*, **: Significativo a 5 e 1 %, respectivamente, pelo teste F.

A resposta aos tratamentos salinos pelas cultivares, quando comparadas para CH e PMSP, permite considerar a assertiva de que o sódio foi mais prejudicial que o potássio e, dentre os ânions, que a ordem de redução respondeu à seqüência bicarbonato > cloreto > nitrato (Quadro 6). Observa-se assim que, já nos estágios iniciais de crescimento e desenvolvimento de feijoeiros, há resposta diferenciada aos íons presentes na solução quando em concentrações elevadas.

4.2. Germinação, vigor e crescimento de feijoeiros em soluções salinas de 60 mmol/L

Os valores médios da porcentagem de plântulas normais (PPN) e do comprimento do hipocótilo (CH) são apresentados no quadro 7. Nessa oportunidade, não foi determinada a produção de matéria seca das plântulas (PMSP), pois foram utilizadas na continuação do ensaio que estudou o crescimento em solução nutritiva. Todavia, como mostrado no item precedente, a PMSP apresentou comportamento semelhante ao do CH em respostas aos tratamentos aplicados (Quadros 5 e 6).

A comparação da testemunha com os tratamentos que receberam soluções salinas permitiu, também neste ensaio, observar que a PPN foi menos afetada que o CH. As porcentagens de redução, confrontando a testemunha com a média dos tratamentos salinos, para DN e OPNS, foram de 13 e 9 % (PPN) e de 46 e 48 % (CH), respectivamente. Esses resultados coincidem, novamente, com os apresentados por De Paula et al. (1994), para feijoeiros, e por Braccini et al. (1996), para soja.

Comparando o CH das duas cultivares, observa-se que a diferença significativa, entre elas, resultou em valor 2 % inferior para OPNS. Já no confronto da testemunha com a média dos tratamentos salinos, para cada cultivar, a redução no CH foi de 46 % e de 48 % para DN e OPNS, respectivamente. A redução de 2 %, mais acentuada para a OPNS,

corroborar o fato de que as diferenças no CH (Quadro 7) devem ser atribuídas mais a características intrínsecas que à resposta diferenciada das cultivares aos sais.

No que se refere aos tratamentos salinos, verificaram-se diferenças estatísticas na PPN e no CH (Quadro 8). Assim, nos feijoeiros, o sódio foi mais prejudicial que o potássio. Dentre os ânions, a ordem de redução respondeu à seqüência bicarbonato > cloreto > nitrato. Observa-se, novamente, que já nos estágios iniciais de crescimento e desenvolvimento de feijoeiros há resposta diferenciada aos íons presentes na solução do solo, quando em concentrações elevadas.

Quadro 7. Porcentagem de plântulas normais (PPN) e comprimento do hipocótilo (CH) de duas cultivares de feijoeiro germinadas em soluções salinas de 60 mmol/L

| Cultivar | Tratamento | PPN | CH |
|----------------|--|-------|-------|
| Diamante Negro | Testemunha | 76,3 | 64,5 |
| | Na ⁺ NO ₃ ⁻ | 63,8 | 36,8 |
| | Cl ⁻ | 77,5 | 36,8 |
| | HCO ₃ ⁻ | 35,0 | 26,8 |
| | K ⁺ NO ₃ ⁻ | 87,5 | 46,5 |
| | Cl ⁻ | 85,0 | 36,3 |
| | HCO ₃ ⁻ | 47,5 | 26,0 |
| | Média dos Tratamentos Salinos | 66,1 | 34,9 |
| | Média Geral ^{1/} | 67,5a | 39,1a |
| OPNS 331 | Testemunha | 73,8 | 60,0 |
| | Na ⁺ NO ₃ ⁻ | 45,0 | 32,3 |
| | Cl ⁻ | 76,3 | 30,0 |
| | HCO ₃ ⁻ | 37,5 | 24,8 |
| | K ⁺ NO ₃ ⁻ | 86,3 | 37,0 |
| | Cl ⁻ | 82,5 | 30,5 |
| | HCO ₃ ⁻ | 73,8 | 32,0 |
| | Média dos Tratamentos Salinos | 66,9 | 31,1 |
| | Média Geral ^{1/} | 67,1a | 38,4b |

^{1/} Letras diferentes, na coluna, para a média geral, indicam diferenças estatisticamente significativas a 5 % pelo teste F para as cultivares em estudo.

Quadro 8. Contrastes médios comparando a porcentagem de plântulas normais (PPN) e o comprimento do hipocótilo (CH) de duas cultivares de feijoeiro germinadas em soluções salinas de 60 mmol/L

| Variáveis dependentes | Contrastes ^{1/} | | | | | |
|-----------------------|--------------------------|---------|---------|--------|--------|--------|
| | C1 | C2 | C3 | C4 | C5 | C6 |
| | Diamante Negro | | | | | |
| PPN (%) | 10,2** | -14,6** | 7,5* | 42,5** | 21,3** | 37,5** |
| CH (mm) | 29,7** | -2,8** | 5,0** | 10,0** | 15,4** | 10,3** |
| | OPNS 331 | | | | | |
| PPN (%) | 6,9* | -27,9** | -11,9** | 38,8** | 8,1* | 8,8* |
| CH (mm) | 28,9** | -4,2** | 4,9** | 5,3** | 5,8** | -1,5 |

^{1/} C1: testemunha vs. soluções salinas. C2: Na⁺ vs. K⁺. C3: NO₃⁻ vs. Cl⁻ + HCO₃⁻ d/Na⁺. C4: Cl⁻ vs. HCO₃⁻ d/Na⁺. C5: NO₃⁻ vs. Cl⁻ + HCO₃⁻ d/K⁺. C6: Cl⁻ vs. HCO₃⁻ d/K⁺.

*, **: Significativo a 5 e 1 %, respectivamente, pelo teste F.

Considerando que, como previamente indicado, o CH é uma variável mais sensível à presença de sais que a PPN, os valores das médias e dos contrastes médios (Quadros 7 e 8) do CH permitem elaborar uma escala de fatores adversos ao crescimento das plantas. A DN mostra essas diferenças de forma mais evidente, indicando que a elevada pressão osmótica da solução é o motivo principal de redução no CH. Em ordem decrescente de importância localizam-se os ânions, com destaque para o bicarbonato, e o sódio em relação ao potássio. A OPNS destaca, também, o efeito da pressão osmótica (Contraste 1, Quadro 8). Para os sais, acompanha a seqüência mostrada para a DN, porém com diferenças menos acentuadas.

As plantas assim germinadas foram transplantadas às soluções nutritivas correspondentes a cada tratamento. Finalizado o ensaio, determinou-se, separadamente, a produção de matéria seca de folhas, pecíolos, caules e raízes (Quadro 9). Na comparação entre cultivares, observaram-se diferenças na produção de matéria seca de pecíolos e raízes, mas não na de folhas e caules. A parte aérea, em conjunto, tampouco apresentou diferenças estatisticamente significativas, acompanhando os resultados mostrados pela matéria seca das folhas.

As variáveis de crescimento são particularmente sensíveis ao efeito do sal. Assim, a taxa de crescimento e a produção de biomassa são critérios adequados à avaliação da condição de salinidade e da capacidade da planta na superação do estresse (Parida & Das, 2005). Diversos trabalhos indicam que, em condições salinas, cultivares sensíveis apresentam redução mais acentuada da produção de matéria seca da parte aérea que das raízes (Ferreira et al., 2001; Silva et al., 2003).

A redução da biomassa seca observada nas plantas crescidas na presença de sal (Quadro 9) estaria relacionada ao efeito osmótico dos sais dissolvidos, que reduzem o potencial osmótico da solução de crescimento e inibem a condução da água às células, caracterizando o estresse hídrico (Munns, 2002). Desse modo, a queda de biomassa seca pode interferir no aumento da respiração celular, acelerada em condições de estresse, reduzindo o ganho de carbono e/ou alterando o suprimento de nutrientes para a planta (Zhu, 2001).

A relação de produção de matéria seca da parte aérea e das raízes (PA/R) é um atributo normalmente usado para avaliar o crescimento relativo dessas porções do vegetal, visando o balanço hídrico da planta. Determinada quantidade de folhas necessita, por sua vez, de certa quantidade de raízes para absorver água do solo e compensar a perda transpiracional. Uma baixa PA/R significa que o sistema radicular é abundante em relação à produção de folhas, indicando alto potencial para evitar o estresse hídrico, promovido pela salinidade. Neste estudo, observou-se aumento acentuado da PA/R nos tratamentos que receberam bicarbonato de sódio, devido à redução da produção de matéria seca de raízes das plantas que receberam tais tratamentos (Quadro 9).

Quadro 9. Produção de matéria seca de folhas (MSF), pecíolos (MSP), caules (MSC), parte aérea (MSPA) e raízes (MSR) e relação entre a produção de matéria seca da parte aérea e a das raízes (PA/R) de duas cultivares de feijoeiro germinadas em soluções salinas e crescidas em soluções nutritivas com 60 mmol/L de sal

| Cultivar | Tratamento | MSF | MSP | MSC | MSPA | MSR | PA/R |
|--|--|------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| ----- g ----- | | | | | | | |
| Diamante Negro | Testemunha | 5,560 | 0,749 | 1,664 | 7,973 | 1,534 | 5,298 |
| | Na ⁺ NO ₃ ⁻ | 2,972 | 0,370 | 0,709 | 4,051 | 0,866 | 4,749 |
| | Cl ⁻ | 2,993 | 0,336 | 0,733 | 4,062 | 0,995 | 4,126 |
| | HCO ₃ ⁻ | 0,425 | 0,096 | 0,081 | 0,602 | 0,076 | 11,138 |
| | K ⁺ NO ₃ ⁻ | 3,083 | 0,210 | 0,312 | 3,605 | 0,432 | 8,824 |
| | Cl ⁻ | 3,055 | 0,364 | 0,592 | 4,011 | 0,810 | 4,898 |
| | HCO ₃ ⁻ | 0,594 | 0,112 | 0,202 | 0,908 | 0,126 | 7,501 |
| | Média dos Tratamentos Salinos | 2,187 | 0,248 | 0,438 | 2,873 | 0,551 | 6,873 |
| | Média Geral ^{1/} | 2,669a | 0,319b | 0,613a | 3,601a | 0,691a | 6,648a |
| | OPNS 331 | Testemunha | 4,783 | 0,965 | 1,366 | 7,113 | 1,238 |
| Na ⁺ NO ₃ ⁻ | | 3,148 | 0,415 | 0,686 | 4,249 | 0,701 | 6,277 |
| Cl ⁻ | | 2,875 | 0,493 | 0,707 | 4,075 | 0,805 | 5,078 |
| HCO ₃ ⁻ | | 0,485 | 0,167 | 0,180 | 0,858 | 0,104 | 14,478 |
| K ⁺ NO ₃ ⁻ | | 3,338 | 0,237 | 0,220 | 3,796 | 0,401 | 9,904 |
| Cl ⁻ | | 3,368 | 0,421 | 0,599 | 4,388 | 0,710 | 6,180 |
| HCO ₃ ⁻ | | 0,609 | 0,117 | 0,160 | 0,885 | 0,148 | 6,444 |
| Média dos Tratamentos Salinos | | 2,304 | 0,308 | 0,425 | 3,042 | 0,478 | 8,060 |
| Média Geral ^{1/} | | 2,658a | 0,402a | 0,560a | 3,623a | 0,587b | 7,739a |

^{1/} Letras diferentes, na coluna, para a média geral, indicam diferenças estatisticamente significativas a 5 %, pelo teste F, para as cultivares em estudo.

De forma contrária, pode haver redução da relação PA/R em plantas submetidas a estresse. Esses resultados foram detectados em algodão sob estresse hídrico (Pace et al., 1999) e em milho sob estresse salino induzido por NaCl (Azevedo Neto & Tabosa, 2000). A diminuição da PA/R foi relacionada à resposta do sistema radicular, visando ampliar o volume de solo explorado como forma de amenizar os efeitos prejudiciais da salinidade na aquisição de água e nutrientes.

A consideração de valores absolutos na comparação de cultivares pode não ser característica adequada, pois envolve respostas próprias da diversidade genética dos materiais em estudo. Assim, a utilização de valores relativos permite melhor diferenciação neste tipo de análise. O quadro 10 apresenta a porcentagem de redução da produção de matéria seca, quando comparada a testemunha com a média dos tratamentos que incluem soluções com 60 mmol/L de sal, utilizando valores extraídos do quadro 9. Em acréscimo, incluiu-se a redução no comprimento do hipocótilo, calculada com os resultados do quadro 7.

Pela comparação dos resultados do quadro 10, verifica-se que, nos feijoeiros estudados, a porcentagem de redução do hipocótilo foi inferior àquela determinada para a produção de matéria seca, independentemente da porção da planta analisada. Isso indica que os feijoeiros sofrem mais os efeitos da salinidade, assim que avançam nas etapas de crescimento e desenvolvimento.

Os resultados do quadro 10 coincidem com os observados por Murillo-Amador et al. (2006) para caupi, que avaliaram genótipos quanto à tolerância a salinidade. Utilizando a porcentagem de sobrevivência dos genótipos a doses crescentes de NaCl como critério de classificação, esses autores constataram que alguns materiais genéticos germinavam em até 170 mol/L de NaCl, mas que, possivelmente, não sobreviveriam até a maturidade. Ferreira et al. (2001), comparando duas épocas de colheita da goiabeira, observaram que a redução da matéria seca, tanto da parte aérea como das raízes, foi mais acentuada com o tempo de cultivo em doses crescentes de NaCl, quando comparada a colheita aos 30 dias com a realizada aos 50 dias do início do ensaio.

Quadro 10. Porcentagem de redução do comprimento do hipocótilo (CH) e da produção de matéria seca de folhas (MSF), pecíolos (MSP), caules (MSC), parte aérea (MSPA) e raízes (MSR) de duas cultivares de feijoeiro, quando comparada a testemunha com a média dos tratamentos com 60 mmol/L de sal

| Cultivar | CH | MSF | MSP | MSC | MSPA | MSR |
|----------------|---------|-----|-----|-----|------|-----|
| | % _____ | | | | | |
| Diamante Negro | -46 | -61 | -67 | -74 | -64 | -64 |
| OPNS 331 | -48 | -52 | -68 | -69 | -57 | -61 |
| DN – OPNS | 2 | -9 | 1 | -5 | -7 | -3 |

A comparação das médias gerais das variáveis, apresentadas no quadro 9, com as porcentagens de redução, mostradas no quadro 10, permite verificar que aquelas estatisticamente diferentes (Quadro 9) são as que manifestam menores reduções de produção, em resposta ao tratamento salino (Quadro 10). Isso permite ratificar que as diferenças indicadas (Quadro 9) respondem mais às características intrínsecas das cultivares.

A semelhança na resposta, para produção de matéria seca de folhas e caules (Quadro 9), é justificada pela disparidade da redução, quando plantas das duas cultivares foram submetidas aos tratamentos salinos (Quadro 10). Em consequência, a comparação da produção de matéria seca de folhas, com valores relativos, em plantas adultas, seria o indicador mais apropriado para estudar materiais genéticos, visando tolerância ao sal. Segundo esse critério, a cultivar DN seria mais susceptível ao sal que a OPNS. A escolha da opção pela parte aérea, de forma integral, reduziria a sensibilidade da determinação (Quadro 10).

Os contrastes médios que analisaram a resposta aos tratamentos salinos são apresentados no quadro 11. A redução acentuada do crescimento, nas plantas sob salinidade, como mostrado pelo contraste 1 do quadro 11, tem sido atribuída à menor quantidade de água absorvida

pelas plantas nesse meio, devido à diminuição do potencial osmótico, ao efeito tóxico de íons absorvidos em excesso ou à combinação de ambos. Contudo, verifica-se que os valores de produção que comparam o sódio ao potássio mostram que, em geral, não houve diferenças para a cultivar DN, apresentando somente alguns valores significativos para OPNS (Contraste 2, Quadro 11). Isso evidencia que, para o nível de salinidade estudado, o efeito osmótico predominou sobre a toxicidade do sódio. Murillo-Amador et al. (2006) constataram que, em diferentes genótipos de caupi, a correlação entre a concentração de Na nos tecidos e a porcentagem de sobrevivência das plantas na presença de NaCl, aos 45 dias de cultivo, não foi estatisticamente significativa.

Considerando os ânions, o bicarbonato foi o mais prejudicial no crescimento para todas as características estudadas, seguido do cloreto e do nitrato (Quadro 11). Os efeitos nocivos do bicarbonato sobre o crescimento de plantas também foram relatados por Bie et al. (2004). Esses autores trabalharam com duas cultivares de alface, crescidas em soluções com bicarbonato ou sulfato de sódio, e constataram que o bicarbonato, em concentração de 7,5 mmol/L, foi mais prejudicial que o sulfato, em concentração de 60 mmol/L.

Utilizando a produção de matéria seca de folhas como critério para diferenciação dos tratamentos (Quadro 10), verifica-se que, em etapa mais avançada de crescimento e desenvolvimento desses feijoeiros, os efeitos prejudiciais, decorrentes de concentrações salinas elevadas, podem ser hierarquizados segundo esta ordem: pressão osmótica > bicarbonato > cloreto > sódio (Quadros 9 e 11).

Quadro 11. Contrastes médios comparando a produção de matéria seca de folhas (MSF), pecíolos (MSP), caules (MSC), parte aérea (MSPA) e raízes (MSR) e da relação entre a produção de matéria seca da parte aérea e a das raízes (PA/R) de duas cultivares de feijoeiro germinadas em soluções salinas e crescidas em soluções nutritivas com 60 mmol/L de sal

| Variáveis dependentes | Contraste ^{1/} | | | | | |
|-----------------------|-------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | C1 | C2 | C3 | C4 | C5 | C6 |
| Diamante Negro | | | | | | |
| MSF (g) | 3,373** | -0,114 | 1,263** | 2,569** | 1,259** | 2,461** |
| MSP (g) | 0,501** | 0,039 | 0,154* | 0,240** | -0,028 | 0,253** |
| MSC (g) | 1,226** | 0,139 | 0,301** | 0,652** | -0,085 | 0,390** |
| MSPA (g) | 5,100** | 0,063 | 1,718** | 3,461** | 1,145** | 3,103** |
| MSR (g) | 0,984** | 0,190** | 0,330** | 0,920** | -0,036 | 0,684** |
| PA/R (g/g) | -1,575 | -0,403 | -2,883 | -7,012* | 2,625 | -2,603 |
| OPNS 331 | | | | | | |
| MSF (g) | 2,479** | -0,269 | 1,468** | 2,390** | 1,350** | 2,759** |
| MSP (g) | 0,656** | 0,100* | 0,086 | 0,326** | -0,032 | 0,305** |
| MSC (g) | 0,940** | 0,198** | 0,242* | 0,527** | -0,159 | 0,439** |
| MSPA (g) | 4,071** | 0,038 | 1,783** | 3,217** | 1,159** | 3,503** |
| MSR (g) | 0,760** | 0,117** | 0,247** | 0,701** | -0,028 | 0,562** |
| PA/R (g/g) | -2,251 | 1,102 | -3,501 | -9,400* | 3,592 | -0,264 |

^{1/} C1: testemunha vs. soluções salinas. C2: Na⁺ vs. K⁺. C3: NO₃⁻ vs. Cl⁻ + HCO₃⁻ d/Na⁺. C4: Cl⁻ vs. HCO₃⁻ d/Na⁺. C5: NO₃⁻ vs. Cl⁻ + HCO₃⁻ d/K⁺. C6: Cl⁻ vs. HCO₃⁻ d/K⁺.

*, **: Significativo a 5 e 1 %, respectivamente, pelo teste F.

4.3. Crescimento de feijoeiros em soluções salinas de 60 mmol/L após germinação em água deionizada

Neste ensaio, a germinação dos feijoeiros foi realizada em papel germitest, utilizando água deionizada. Os resultados permitem a comparação de plantas germinadas em condições desfavoráveis, como no ensaio 3.2., com aquelas que receberam os tratamentos salinos numa etapa mais avançada de crescimento e desenvolvimento.

Incorporou-se, em acréscimo, um tratamento com solução de cloreto de sódio e pH ajustado a 8,5, para permitir o contraste do cloreto com o bicarbonato de sódio, em soluções com o mesmo pH. O ajuste de soluções de bicarbonato a baixos valores de pH não é possível por causa da liberação de CO₂, que leva à perda de bicarbonato da solução.

Na conclusão do ensaio, determinou-se a área foliar e, separadamente, a produção

Os contrastes médios que analisaram a resposta aos tratamentos salinos são apresentados no quadro 14. Os contrastes 1, 2, 3, 6 e 7 acompanharam, em geral, o sinal e a significância apresentada pelos contrastes 1, 2, 3, 5 e 6 do quadro 11, oportunamente discutidos. É de interesse, então, verificar a resposta dos contrastes 4 e 5 do quadro 14. No primeiro, comparam-se resultados de plantas crescidas em solução com cloreto de sódio, a pH 5,5 e 8,5, respectivamente. O restante confronta o cloreto e o bicarbonato de sódio, no mesmo valor de pH (8,5).

O contraste 4 evidencia significância para todas as variáveis de produção analisadas, indicando redução pela elevação de pH, de 5,5 para 8,5, na solução contendo cloreto de sódio. O contraste 5 apresenta somente significâncias esporádicas, mostrando, em geral, resposta semelhante para o cloreto e o bicarbonato, quando presentes no mesmo pH de 8,5.

Alguns autores (Pearce et al., 1999; Navarro et al., 2000; Bie et al., 2004) sugeriram que, na presença de bicarbonato de sódio, o pH elevado da solução afetaria mais o crescimento das plantas que a toxidez específica do ânion. A resposta negativa à elevação do pH em solução nutritiva, independentemente do sal utilizado, também foi relatada por Fageria & Baligar (1999), que verificaram decréscimos significativos da produção de matéria seca do feijoeiro, da soja e do trigo, com o incremento do pH da solução nutritiva de 4,9 para 7,0. Em acréscimo, Kaya et al. (2002) observaram que a combinação de salinidade e pH elevados provocou reduções acentuadas na produção de matéria seca de morangueiros. A redução em resposta ao tratamento conjunto foi mais drástica que a verificada quando os dois fatores foram estudados separadamente.

Quadro 12. Área foliar (AF), produção de matéria seca de folhas (MSF), pecíolos (MSP), caules (MSC), parte aérea (MSPA) e raízes (MSR), relação entre a produção de matéria seca da parte aérea e a das raízes (PA/R) e área foliar específica (AFE) de duas cultivares de feijoeiro germinadas em água deionizada e crescidas em soluções nutritivas com 60 mmol/L de sal

| Cultivar | Tratamento | AF | MSF | MSP | MSC | MSPA | MSR | PA/R | AFE |
|-------------------|--|-------|--------|--------------------|--------|---------|--------|---------|------|
| | | g | | | | | | | |
| Diamante Negro | Testemunha | 1.620 | 10,835 | 1,768 | 4,715 | 17,318 | 2,150 | 8,108 | 150 |
| | Na ⁺ NO ₃ ⁻ | 1.017 | 5,355 | 1,035 | 1,675 | 8,065 | 0,973 | 8,380 | 192 |
| | Cl ⁻ (pH 5,5) | 1.063 | 6,143 | 1,128 | 1,868 | 9,138 | 1,203 | 7,703 | 174 |
| | Cl ⁻ (pH 8,5) | 507 | 2,660 | 0,675 | 1,423 | 4,758 | 0,590 | 10,585 | 155 |
| | HCO ₃ ⁻ | 394 | 2,543 | 0,573 | 0,935 | 4,050 | 0,388 | 12,197 | 149 |
| | K ⁺ NO ₃ ⁻ | 1.352 | 9,103 | 1,433 | 3,295 | 13,830 | 1,138 | 8,599 | 159 |
| | Cl ⁻ | 1.259 | 7,948 | 0,960 | 3,358 | 12,265 | 1,448 | 11,353 | 137 |
| | HCO ₃ ⁻ | 578 | 4,230 | 0,928 | 1,798 | 6,955 | 0,620 | 8,115 | 192 |
| | Média dos Tratamentos Salinos | 881 | 5,426 | 0,961 | 2,050 | 8,437 | 0,908 | 9,562 | 166 |
| | Média Geral ^{1/} | 974a | 6,102b | 1,062b | 2,383b | 9,547b | 1,063b | 9,380b | 164a |
| OPNS 331 | Testemunha | 1.683 | 13,358 | 2,830 | 5,558 | 21,745 | 2,258 | 9,741 | 126 |
| | Na ⁺ NO ₃ ⁻ | 851 | 6,960 | 1,478 | 2,320 | 10,758 | 0,793 | 13,766 | 122 |
| | Cl ⁻ (pH 5,5) | 1.362 | 7,675 | 1,428 | 2,623 | 11,725 | 1,133 | 10,449 | 178 |
| | Cl ⁻ (pH 8,5) | 545 | 4,093 | 1,113 | 1,688 | 6,893 | 0,678 | 12,753 | 87 |
| | HCO ₃ ⁻ | 403 | 4,613 | 1,045 | 1,235 | 6,893 | 0,540 | 10,142 | 126 |
| | K ⁺ NO ₃ ⁻ | 1.095 | 8,680 | 2,198 | 4,480 | 15,357 | 1,565 | 8,407 | 168 |
| | Cl ⁻ | 1.191 | 7,110 | 1,733 | 3,270 | 12,113 | 1,460 | 12,614 | 135 |
| | HCO ₃ ⁻ | 736 | 5,470 | 1,185 | 2,243 | 8,898 | 0,713 | 10,293 | 134 |
| | Média dos Tratamentos Salinos | 883 | 6,371 | 1,454 | 2,551 | 10,376 | 0,983 | 11,203 | 136 |
| | Média Geral ^{1/} | 983a | 7,245a | 1,626 ^a | 2,927a | 11,797a | 1,142a | 11,021a | 134b |

^{1/} Letras diferentes, na coluna, para a média geral, indicam diferenças estatisticamente significativas a 5 % pelo teste F para as cultivares em estudo.

Quadro 13. Porcentagem de redução da área foliar (AF) e da produção de matéria seca de folhas (MSF), pecíolos (MSP), caules (MSC), parte aérea (MSPA) e raízes (MSR) de duas cultivares de feijoeiro germinadas em água deionizada, quando comparada a testemunha com a média dos tratamentos com 60 mmol/L de sal

| Cultivar | AF | MSF | MSP | MSC | MSPA | MSR |
|----------------|-----|-----|-----|-----|------|-----|
| | % | | | | | |
| Diamante Negro | -42 | -46 | -43 | -54 | -48 | -55 |
| OPNS 331 | -44 | -49 | -47 | -52 | -50 | -54 |
| DN – OPNS | 2 | 3 | 4 | -2 | 2 | -1 |

Quadro 14. Contrastes médios comparando a área foliar (AF), a produção de matéria seca de folhas (MSF), pecíolos (MSP), caules (MSC), parte aérea (MSPA) e raízes (MSR), a relação entre a produção de matéria seca da parte aérea e a das raízes (PA/R) e a área foliar específica (AFE) de duas cultivares de feijoeiro germinadas em água deionizada e crescidas em soluções nutritivas com 60 mmol/L de sal

| Variáveis dependentes | Contraste ^{1/} | | | | | | |
|--------------------------|-------------------------|----------|---------|---------|----------|---------|----------|
| | C1 | C2 | C3 | C4 | C5 | C6 | C7 |
| Diamante Negro | | | | | | | |
| AF (cm ²) | 676** | -239** | 362** | 555** | 113 | 434** | 681** |
| MSF (g) | 4,948** | -2,413** | 1,573** | 3,483** | 0,118 | 3,014** | 3,718** |
| MSP (g) | 0,758** | -0,195** | 0,243** | 0,453** | 0,103 | 0,489** | 0,033 |
| MSC (g) | 2,560** | -1,324** | 0,267 | 0,445* | 0,488* | 0,718** | 1,560** |
| MSPA (g) | 8,267** | -3,933** | 2,083** | 4,380** | 0,708 | 4,220** | 5,310** |
| MSR (g) | 1,189** | -0,214** | 0,246** | 0,613** | 0,203* | 0,104 | 0,828** |
| PA/R (g/g) | -1,695** | -1,827** | -0,421 | -0,412 | -2,470** | 2,221** | -2,754** |
| AFE (cm ² /g) | -11 | 25** | 18* | -18 | 36** | 1 | 22* |
| OPNS 331 | | | | | | | |
| AF (cm ²) | 744** | -135** | 81 | 817** | 143* | 131* | 455** |
| MSF (g) | 6,606** | -0,671** | 1,500** | 3,583** | -0,520 | 2,390** | 1,640** |
| MSP (g) | 1,319** | -0,388** | 0,283** | 0,315** | 0,068 | 0,739** | 0,584** |
| MSC (g) | 2,863** | -1,272** | 0,472** | 0,935** | 0,453* | 1,724** | 1,028** |
| MSPA (g) | 10,788** | -2,331** | 2,254** | 4,833** | 0,000 | 4,852** | 3,215** |
| MSR (g) | 1,224** | -0,424** | 0,009 | 0,455** | 0,138 | 0,479** | 0,784** |
| PA/R (g/g) | -1,614** | 1,935** | 2,601** | 0,156 | -2,460** | -0,369 | -4,207** |
| AFE (cm ² /g) | -10 | -14* | -11 | 44** | 47** | -26** | 33** |

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

*, **: Significativo a 5 e 1 %, respectivamente, pelo teste F.

Considerando os dados apresentados neste ensaio, verifica-se que os efeitos prejudiciais, decorrentes dos tratamentos aplicados, podem ser hierarquizados segundo a seguinte ordem: pressão osmótica > alcalinidade > bicarbonato \approx cloreto > sódio (Quadros 12 e 14).

Os teores de sódio, potássio, cálcio e magnésio, determinados em folhas, pecíolos, caules e raízes, são apresentados no quadro 15. Com os valores de produção de matéria seca (Quadro 12) e dos respectivos teores, calculou-se o acúmulo de sódio, potássio, cálcio e magnésio em folhas, pecíolos, caules e raízes (Quadro 16). O quadro 17 reúne dados extraídos dos quadros 12, 15 e 16, apresentando, de forma resumida, os contrastes entre cultivares para produção de matéria seca, teor e acúmulo dos cátions analisados.

No quadro 17, utilizou-se um esquema semelhante àquele apresentado por Jarrell & Beverly (1981) para evidenciar efeitos de diluição, concentração, sinergismo ou antagonismo. Segundo esses autores, devem-se considerar três variáveis -acúmulo, produção e teor- para ter condições de estabelecer, definitivamente, qual a situação na comparação entre dois tratamentos impostos; neste caso, as duas cultivares estudadas. Nos dados apresentados, duas variáveis não apresentaram homogeneidade de variâncias para teor (sódio em folhas e cálcio em raízes) e, conseqüentemente, essa comparação não pode ser realizada.

Da análise do quadro 17 depreende-se que, na maioria das situações, há diminuição do acúmulo e da produção de matéria seca, sem alteração do teor. Isso indica que os cátions que apresentam essa situação não influenciam as diferenças registradas. No entanto, se focalizado o sódio em pecíolos, a DN, na comparação com a OPNS, mostra redução no acúmulo e na produção e incremento no teor, destacando o efeito de concentração nessa porção da cultivar. Assim, haveria uma resposta diferenciada das duas cultivares à presença de sódio. A concentração desse elemento, em pecíolos, tem sido relatada por diversos autores (Slama, 1986; Cheeseman, 1988; Araújo, 1994). A elevação no teor de sódio, em pecíolos, da cultivar DN ocorre em face da redução pouco acentuada do acúmulo (Quadro 16), se comparada à produção de matéria seca (Quadro 12).

Quadro 15. Teor de sódio, de potássio,

Quadro 16. Acúmulo de sódio, de potássio, de cálcio e de magnésio em folhas (F), pecíolos (P), caules (C) e raízes (R) de duas cultivares de feijoeiro germinadas em água deionizada e crescidas em soluções nutritivas com 60 mmol/L de sal

| Cultivar | Tratamento | Acúmulo | | | | | | | |
|----------|--|----------|---------|---------|---------|----------|----------|----------|---------|
| | | NaF | NaP | NaC | NaR | KF | KP | KC | KR |
| | | mg | | | | | | | |
| 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/} | 21,247a | 8,737a | 20,465a | 10,107a | 186,226a | 39,589a | 68,903a | 41,400a |
| 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/} | 24,222b | 11,378b | 25,448a | 9,133a | 207,625b | 661,815b | 669,651a | 43,707a |
| | | CaF | CaP | CaC | CaR | MgF | MgP | MgC | MgR |
| 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/} | 98,630a | 11,027a | 23,598a | 15,350a | 13,354a | 1,423a | 3,622a | 2,480a |
| OPNS | Testemunha | 235,029 | 36,508 | 56,822 | 21,940 | 30,118 | 3,908 | 8,061 | 6,094 |
| 331 | 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/} | 128,407b | 16,335b | 29,878b | 14,555a | 16,881b | 2,125b | 4,580b | 2,492a |

^{1/} Letras diferentes, na coluna, para cada cátion, indicam diferenças estatisticamente significativas a 5 % pelo teste F para as cultivares em estudo.

Quadro 17. Diferenças no acúmulo, na produção de matéria seca e no teor de sódio, potássio, cálcio e magnésio, na comparação da cultivar Diamante Negro com a OPNS 331^{1/}

| Elemento | Porção Analisada | Acúmulo | Produção | Teor |
|----------|------------------|---------|----------|-------------------|
| | | mg | g | dag/kg |
| Sódio | Folhas | ↓ | ↓ | vnh ^{2/} |
| | Pecíolos | ↓ | ↓ | ↑ |
| | Caules | ↓ | ↓ | ↑ |
| | Raízes | 0 | ↓ | 0 |
| Potássio | Folhas | ↓ | ↓ | 0 |
| | Pecíolos | ↓ | ↓ | 0 |
| | Caules | 0 | ↓ | ↑ |
| | Raízes | 0 | ↓ | 0 |
| Cálcio | Folhas | ↓ | ↓ | 0 |
| | Pecíolos | ↓ | ↓ | 0 |
| | Caules | ↓ | ↓ | 0 |
| | Raízes | 0 | ↓ | vnh ^{2/} |
| Magnésio | Folhas | ↓ | ↓ | 0 |
| | Pecíolos | ↓ | ↓ | 0 |
| | Caules | ↓ | ↓ | 0 |
| | Raízes | 0 | ↓ | 0 |

^{1/} ↓, 0 e ↑: valores menores, iguais e maiores para a cultivar Diamante Negro, quando comparada com a cultivar OPNS 331, pelo teste F. ^{2/} vnh: variâncias não-homogêneas.

O quadro 17 mostra também que, no caule, o sódio e o potássio apresentam resposta semelhante. Assim, sem alterações no acúmulo, a diminuição da produção de matéria seca acarreta a elevação do teor desses dois cátions. Nessa porção dos feijoeiros, a matéria seca da DN é de 81 % daquela da OPNS (Quadro 12). Quando comparados os teores de sódio e de potássio, os valores da OPNS correspondem a 94 e 89 %, respectivamente, daqueles da DN (Quadro 15). Torna-se evidente a concentração de potássio em caules, em contraposição ao sódio, para equilibrar pressões osmóticas, devido à localização diferenciada dos dois cátions. As raízes, em todos os casos, apresentam diminuição de matéria seca na comparação das duas cultivares, sem alteração nos teores ou acúmulo dos quatro cátions determinados (Quadros 15 e 16).

Os contrastes analisados, para teores e acúmulo de sódio, potássio, cálcio e magnésio em folhas, pecíolos, caules e raízes, são apresentados nos quadros 18 e 19. Comparada a testemunha com os tratamentos salinos, percebe-se que os teores de sódio e potássio, obviamente, foram superiores nas plantas em que o crescimento ocorreu na presença de sais desses cátions. Já o cálcio aumentou nos pecíolos, em detrimento dos teores em folhas e raízes, e o magnésio não sofreu alterações (Contraste 1, Quadro 18). Os teores destes dois nutrientes, também, foram maiores na presença do sódio que na do potássio, demandando incremento da absorção para equilibrar eventuais diferenças de pressão osmótica (Contraste 2, Quadro 18). A maioria dos outros contrastes analisados não foram estatisticamente significativos, mostrando comportamento igual nos diferentes ânions estudados. As diferenças em acúmulo (Quadro 19) acompanharam mais a produção de matéria seca que os teores determinados (Quadros 12, 14, 15 e 18).

A resposta do teor de sódio aos diferentes ânions e pH deve ser observada nos contrastes 3, 4 e 5, e a do potássio, nos contrastes 6 e 7 (Quadro 18). No que se refere ao sódio, verifica-se que houve alterações em folhas e caules e, em menor grau, em raízes. Os sinais, em geral opostos para folhas e caules, indicam que aqueles ânions que apresentaram maiores teores em folhas foram responsáveis pelos menores valores em caules. Com relação ao potássio, quando os teores foram diferentes, os maiores valores corresponderam à associação com o nitrato, vindo, na seqüência, os teores associados ao cloreto e ao bicarbonato. Essa foi também a ordem para os dois cátions, no momento em que os contrastes que analisaram o acúmulo mostraram significância estatística (Quadro 19).

Quadro 18. Contrastes médios comparando o teor de sódio, de potássio, de cálcio e de magnésio em folhas, pecíolos, caules e raízes de duas cultivares de feijoeiro germinadas em água deionizada e crescidas em soluções nutritivas com 60 mmol/L de sal

| Sal | | Constraste ^{1/} | | | | | | |
|----------------|-------------------|--------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| | | C1 | C2 | C3 | C4 | C5 | C6 | C7 |
| Diamante Negro | | | | | | | | |
| Na | Folhas (dag/kg) | -0,375** | 0,751** | 0,174* | 0,142 | 0,832** | 0,000 | 0,000 |
| | Pecíolos (dag/kg) | -0,959** | 1,918** | 0,063 | 0,247* | -0,210 | 0,000 | 0,000 |
| | Caules (dag/kg) | -1,220** | 2,439** | -0,549** | -0,774** | -0,147 | 0,000 | 0,000 |
| | Raízes (dag/kg) | -0,911** | 1,823** | 0,165 | -0,317* | 2,127** | 0,000 | 0,000 |
| K | Folhas (dag/kg) | -1,605** | -1,196** | -0,258 | -0,404 | 0,517* | 0,646** | 1,616** |
| | Pecíolos (dag/kg) | -2,036** | -2,100** | 0,038 | -0,081 | -1,325** | -0,606 | 0,145 |
| | Caules (dag/kg) | -1,228** | -2,854** | -0,646* | -0,323 | -0,759* | -0,008 | 1,276** |
| | Raízes (dag/kg) | 1,050** | -4,362** | 0,630* | 1,163** | 0,582 | 0,606 | 1,858** |
| Ca | Folhas (dag/kg) | -0,294** | 0,680** | -0,214* | -0,234 | -0,161 | -0,165 | -0,523** |
| | Pecíolos (dag/kg) | 0,409** | 0,112* | -0,069 | 0,230** | 0,107 | -0,230** | 0,052 |
| | Caules (dag/kg) | 0,118 | 0,214** | -0,020 | -0,002 | 0,098 | 0,053 | -0,087 |
| | Raízes (dag/kg) | -0,963** | 0,924** | -1,372** | 0,553* | -5,223** | -0,988** | -2,158** |
| Mg | Folhas (dag/kg) | -0,005 | 0,090** | -0,037 | -0,043 | -0,052* | -0,034 | -0,064* |
| | Pecíolos (dag/kg) | 0,019 | 0,028** | 0,000 | 0,020 | -0,016 | -0,009 | -0,021 |
| | Caules (dag/kg) | -0,007 | 0,079** | 0,021 | 0,003 | 0,065** | 0,000 | -0,016 |
| | Raízes (dag/kg) | -0,012 | 0,115** | 0,096** | 0,109** | -0,043 | -0,061* | -0,094* |
| OPNS 331 | | | | | | | | |
| Na | Folhas (dag/kg) | -0,311** | 0,621** | 0,457** | -0,176** | 0,822** | 0,000 | 0,000 |
| | Pecíolos (dag/kg) | -0,807** | 1,613** | -0,170 | 0,058 | 0,053 | 0,000 | 0,000 |
| | Caules (dag/kg) | -1,189** | 2,377** | -0,647** | -0,232* | -0,619** | 0,000 | 0,000 |
| | Raízes (dag/kg) | -0,806** | 1,611** | -0,162 | -0,325* | 2,088** | 0,000 | 0,000 |
| K | Folhas (dag/kg) | -1,826** | -0,689** | -0,075 | -0,081 | 0,275 | 0,792** | 1,228** |
| | Pecíolos (dag/kg) | -2,100** | -2,488** | -0,770 | -0,194 | -1,680** | 0,364 | 0,856 |
| | Caules (dag/kg) | -0,684* | -1,519** | -0,657* | -0,533 | -0,856* | -0,372 | 0,032 |
| | Raízes (dag/kg) | 0,889** | -4,577** | 0,722* | 0,582 | 0,711 | 0,808* | 1,486** |
| Ca | Folhas (dag/kg) | 0,004 | 0,499** | -0,070 | -0,567** | 0,164 | -0,196 | -0,038 |
| | Pecíolos (dag/kg) | 0,365** | 0,058 | 0,032 | -0,079 | -0,109 | 0,104 | 0,077 |
| | Caules (dag/kg) | 0,028 | 0,194** | -0,157* | -0,185 | 0,341** | -0,026 | -0,088 |
| | Raízes (dag/kg) | -0,988* | 1,426** | -1,677** | 0,250 | -5,658** | -0,497 | -1,283* |
| Mg | Folhas (dag/kg) | -0,010 | 0,064** | -0,030 | -0,063* | -0,010 | -0,041 | -0,034 |
| | Pecíolos (dag/kg) | 0,010 | 0,026** | -0,005 | -0,034* | -0,008 | 0,015 | -0,007 |
| | Caules (dag/kg) | -0,010 | 0,068** | 0,012 | -0,040* | 0,100** | -0,007 | 0,003 |
| | Raízes (dag/kg) | 0,053 | 0,081** | 0,047 | 0,048 | -0,008 | -0,038 | -0,112** |

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

*, **: Significativo a 5 e 1 %, respectivamente, pelo teste F.

Quadro 19. Contrastes médios comparando o acúmulo de sódio, de potássio, de cálcio e de magnésio em folhas, pecíolos, caules e raízes de duas cultivares de feijoeiro germinadas em água deionizada e crescidas em soluções nutritivas com 60 mmol/L de sal

| Sal | Constraste ^{1/} | | | | | | | |
|----------------|--------------------------|-----------|------------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | C1 | C2 | C3 | C4 | C5 | C6 | C7 | |
| Diamante Negro | | | | | | | | |
| Na | Folhas (mg) | -18,655** | 40,397** | 17,998** | 45,175** | 21,397** | 1,243 | 1,534 |
| | Pecíolos (mg) | -8,223** | 17,374** | 5,179** | 10,822** | 0,589 | 0,343 | 0,023 |
| | Caules (mg) | -14,569** | 33,053** | -0,662 | -0,790 | 12,903** | 0,740 | 1,609 |
| | Raízes (mg) | -7,976** | 18,184** | 5,579** | 14,119** | 14,228** | 0,107 | 0,853 |
| K | Folhas (mg) | -28,689* | -161,762** | 29,705 | 87,440** | 15,799 | 150,966** | 232,536** |
| | Pecíolos (mg) | -3,373 | -30,363** | 8,674 | 11,468 | -4,588 | 18,491 | 3,530 |
| | Caules (mg) | 8,326 | -106,198** | -4,713 | 1,387 | -0,350 | 25,525** | 104,089** |
| | Raízes (mg) | 59,763** | -50,143** | 6,208 | 17,432* | 3,964 | 8,551 | 64,440** |
| Ca | Folhas (mg) | 62,800** | -0,920 | 24,434* | 62,981** | -1,732 | 33,721** | 24,945* |
| | Pecíolos (mg) | 14,487** | -0,310 | 1,424 | 6,926** | 1,694 | 1,443 | 0,882 |
| | Caules (mg) | 31,532** | -8,110** | 2,332 | 5,028 | 6,302 | 8,329** | 10,793** |
| | Raízes (mg) | 11,544** | 0,190 | -2,295 | 10,168* | -19,035** | -4,506 | -4,677 |
| Mg | Folhas (mg) | 12,128** | -0,344 | 3,010 | 7,468** | -0,985 | 3,469* | 3,915* |
| | Pecíolos (mg) | 1,359** | 0,030 | 0,322 | 0,811** | 0,045 | 0,452* | -0,142 |
| | Caules (mg) | 3,915** | -0,235 | 0,735 | 1,091* | 1,548** | 0,929* | 1,380** |
| | Raízes (mg) | 2,545** | 0,896* | 1,505** | 2,595** | 0,255 | -0,297 | 0,724 |
| OPNS 331 | | | | | | | | |
| Na | Folhas (mg) | -19,371** | 43,916** | 40,124** | 20,454** | 32,855** | 0,986 | 0,677 |
| | Pecíolos (mg) | -9,669** | 20,917** | 2,253 | 6,567** | 1,512 | 0,518 | 0,384 |
| | Caules (mg) | -20,137** | 44,868** | -0,437 | 17,048** | 3,966 | 1,778 | 1,060 |
| | Raízes (mg) | -6,262** | 14,610** | -2,463 | 9,546** | 15,126** | 0,494 | 0,771 |
| K | Folhas (mg) | -36,475* | -75,394** | 39,263* | 105,464** | -3,424 | 143,025** | 132,099** |
| | Pecíolos (mg) | -4,384 | -57,669** | -1,230 | 5,676 | -15,773* | 46,418** | 41,691** |
| | Caules (mg) | 31,778** | -75,969** | -2,714 | 3,505 | -2,391 | 44,083** | 35,395** |
| | Raízes (mg) | 54,473** | -63,299** | 4,604 | 10,311 | 4,936 | 35,659** | 55,817** |
| Ca | Folhas (mg) | 118,983** | 20,433** | 30,794** | 40,486** | -4,619 | 19,799 | 23,307 |
| | Pecíolos (mg) | 22,539** | -3,058** | 3,096** | 1,867 | -0,496 | 8,444** | 5,841** |
| | Caules (mg) | 30,294** | -7,379** | 2,072 | 8,276* | 10,260** | 14,461** | 7,590* |
| | Raízes (mg) | 6,908* | 4,080 | -8,755** | 5,266 | -30,009** | 1,647 | -2,823 |
| Mg | Folhas (mg) | 14,681** | 2,487* | 2,706 | 5,870** | -1,935 | 1,684 | 1,302 |
| | Pecíolos (mg) | 2,008** | -0,156 | 0,345 | 0,019 | -0,001 | 1,139** | 0,503* |
| | Caules (mg) | 3,985** | 0,020 | 1,153** | 1,384** | 2,322** | 1,811** | 1,381** |
| | Raízes (mg) | 4,025** | 0,183 | 0,380 | 1,570* | 0,222 | 0,517 | 0,167 |

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

*, **: Significativo a 5 e 1 %, respectivamente, pelo teste F.

5. CONCLUSÕES

Os resultados permitem as seguintes conclusões:

- ◆ Considerando germinação e vigor, características associadas ao vigor são mais sensíveis na resposta de feijoeiros ao sal. Destaca-se o comprimento do hipocótilo, que permite adequada diferenciação na seleção de materiais genéticos, além de possibilitar a posterior utilização das plântulas.
- ◆ Avançando nos estágios de crescimento e desenvolvimento, as plantas sofrem de forma mais acentuada os efeitos desfavoráveis das concentrações salinas elevadas.
- ◆ Sugere-se a germinação de sementes em soluções salinas, em substituição à água deionizada, como procedimento mais adequado no estudo da resposta dos feijoeiros ao sal.
- ◆ Em feijoeiros germinados em soluções salinas e crescidos em solução nutritiva de elevada salinidade, a produção de matéria seca de folhas, isoladamente, foi o melhor indicador de resposta.
- ◆ Os efeitos prejudiciais, decorrentes de concentrações salinas e pH elevados, podem ser hierarquizados, segundo a ordem: pressão osmótica > alcalinidade > bicarbonato \approx cloreto > sódio.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARAÚJO, C.A.S. Avaliação de feijoeiros quanto a tolerância à salinidade em solução nutritiva. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1994. 87p. (Dissertação de Mestrado)
- AZEVEDO NETO, A.D. & TABOSA, J.N. Estresse salino em plântulas de milho: Parte I. Análise do crescimento. R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental, 4:159-164, 2000.
- BAYUELO-JIMÉNEZ, J.S.; DEBOUCK, D.G. & LYNCH, J.P. Growth, gas exchange, water relations, and composition of *Phaseolus* species grown under saline conditions. Field Crop Res., 80:207-222, 2002.
- BIE, Z.; ITO, T. & SHINOHARA, Y. Effects of sodium sulfate and sodium bicarbonate on the growth, gas exchange and mineral composition of lettuce. Scientia Hort., 99:215-224, 2004.
- BRACCINI, A.L.; RUIZ, H.A.; BRACCINI, M.C.L. & REIS, M.S. Germinação e vigor de sementes de soja sob estresse hídrico induzido por soluções de cloreto de sódio, manitol e polietileno glicol. R. Bras. Sem., 18:10-16, 1996.
- CHEESEMAN, J.M. Mechanism of salinity tolerance in plants. Plant Physiol., 87:547-550, 1988.

- 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* submetidas à salinidade. R. Bras. Bot., 26:289-297, 2003.
- DE PAULA, S.V.; RUIZ, H.A. & ALVARENGA, E.M. Avaliação de plântulas de feijão (*Phaseolus vulgaris*) como critério para seleção de cultivares tolerantes à salinidade. R. Bras. Sem., 16:220-224, 1994.
- FERREIRA, R.G.; TAVORA, F.J.A.F. & HERNANDEZ, F.F.F. Distribuição da material seca e composição química das raízes, caule e folhas de goiabeira submetidas a estresse salino. Pesq. Agropec. Bras., 36:79-88, 2001.
- FAGERIA, N.K. Tolerance of rice cultivar to salinity. Pesq. Agropec. Bras., 26:281-288, 1991.
- FAGERIA, N.K. & BALIGAR, V.C. Growth and nutrient concentrations of common bean, lowland rice, corn, soybean, and wheat at different soil pH on an Inceptisol. J. Plant Nutr., 22:1495-1507, 1999.
- GADALLAH, M.A.A. & RAMADAN, T. Effects of zinc and salinity on growth and anatomical structure of *Carthamus tinctorius* L. Biol. Plant., 39:411-418, 1997.
- HAJIBAGHERI, M.A.; YEO, A.R. & FLOWERS, T.J. Salt tolerance in *Suaeda maritima* (L) Dum. Fine structure and ion concentrations in the apical region of roots. New Phytol., 99:331-343, 1985.
- HERNÁNDEZ, J.A.; CAMPILLO, A.; JIMÉNEZ, A. & ALARCÓN, J.J. Response of antioxidant systems and leaf water relations to NaCl stress in pea plants. New Phytol., 141:241-251, 1999.
- HOSSAIN, Z.; MANDAL, A.K.A.; SHUKLA, R. & DATTA, S.K. NaCl stress – Its chromotoxic effects and antioxidant behavior in roots of *Chrysanthemum morifolium* Ramat. Plant Sci., 166:215-220, 2004.
- JARRELL, W.M. & BEVERLY, R.B. The dilution effect in plant nutrition studies. Adv. Agron., 34:197-224, 1981.

- KAMKAR, B.; KAFI, M. & MAHALLATI, M.N. Determination of the most sensitive developmental period of wheat (*Triticum aestivum*) to salt stress to optimize saline water utilization. 4th International Crop Science Congress, 2004. Disponível em <http://www.cropscience.org.au/icsc2004/poster/1/3/3/417_kamkarb.htm#TopOfPage>. Acesso em 10 de Janeiro de 2005.
- KAYA, C.; HIGGS, D.; SALTALI, K. & GEZEREL, O. Response of strawberry grown at high salinity and alkalinity to supplementary potassium. *J. Plant Nutr.*, 25:1415-1427, 2002.
- LEVITT, J. Responses of plants to environmental stress. New York, Academic Press, 1972. 697p.
- LONGSTRETH, D.J. & NOBEL, P.S. Salinity effects on leaf anatomy. *Plant Physiol.*, 63:700-703, 1979.
- MANSOUR, M.M.F. & SALAMA, K.H.A. Cellular basis of salinity tolerance in plants. *Env. Exp. Bot.*, 52:113-122, 2004.
- MARINHO, F.J.L.; FERNANDES, P.D. & GHEYI, H.R. Relações água-solo-planta-atmosfera. Desenvolvimento inicial do abacaxizeiro, cv. *Smooth cayenne*, sob diferentes condições de salinidade da água. *R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental*, 2:1-5, 1998.
- MARSCHNER, H. Mineral nutrition of higher plants. 2 ed. San Diego, Academic Press, 1995. 889p.
- MARTINEZ, V.; BERNSTEIN, N. & LAUCHLI, A. Salt-induced inhibition of phosphorus transport in lettuce plants. *Phys. Plant.*, 97:118-122, 1996.
- MOGHAIEB, R.E.A.; SANEOKA, H. & FUJITA, K. Effect of salinity on osmotic adjustment, glycinebetaine accumulation and the betaine aldehyde dehydrogenase gene expression in two halophytic plants, *Salicornia europaea* and *Suaeda maritime*. *Plant Sci.*, 166:1345-1349, 2004.
- MUNNS, R. Comparative physiology of salt and water stress. *Plant Cell Env.*, 25:239-250, 2002.

- MURILLO-AMADOR, B.; TROYO-DIÉGUEZ, E.; GARCÍA-HERNÁNDEZ, J.L.; LÓPEZ-AGUIAR, R.; ÁVILA-SERRANO, N.Y.; ZAMORA-SALGADO, S.; RUEDA-PUENTE, E.O. & KAYA, C. Effect of NaCl salinity in the genotypic variation of cowpea (*Vigna unguiculata*) during early vegetative growth. *Scientia Hort.*, 108:423-443, 2006.
- NAVARRO, J.M.; MARTÍNEZ, V. & CARVAJAL, M. Ammonium, bicarbonate and calcium effects on tomato plants grown under saline conditions. *Plant Sci.*, 157:89-96, 2000.
- NEUMANN, P.M.; VAN VOLKENBURGH, E. & CLELAND, R.E. Salinity stress inhibits bean leaf expansion by reducing turgor, not wall extensibility. *Plant Physiol.*, 88:233-237, 1988.
- O'BRIEN, T.P.; FEDER, N. & McCULLY, M.E. Polychromatic staining of plant cell walls by toluidine blue O. *Protoplasma*, 59:368-373, 1964.
- ORCUTT, D.M. & NILSEN, E.T. *Physiology of plants under stress – Soil and biotic factors*. New York, John Wiley, 2002. 398p.
- PACE, P.F.; CRALLE, H.T.; EL-HALAWANY, S.H.M.; COTHREN, J.T. & SENSEMAN, S.A. Drought-induced changes in shoot and root growth of young cotton plants. *J. Cotton Sci.*, 3:183–187, 1999.
- PARIDA, A.K. & DAS, A.B. Salt tolerance and salinity effects on plants: a review. *Ecotox. Env. Safety*, 60:324-349, 2005.
- PEARCE, R.C.; LI, Y. & BUSH, L.P. Calcium and bicarbonate effects on the growth and nutrient uptake of barley and tobacco seedlings: hydroponic culture. *J. Plant Nutr.*, 22:1069-1078, 1999.
- RAMOLIYA, P.J. & PANDEY, A.N. Effect of salinization of soil on emergence, growth and survival of seedlings of *Cordia rothii*. *Forest Ecol. Man.*, 176:185-194, 2003.
- RUIZ, H.A. Relações molares de macronutrientes em tecido vegetal como base para a formulação de soluções nutritivas. *R. Ceres*, 44:533-546, 1997.

- 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 CaCl₂. *Plant Physiol.*, 15:99-105, 2003.
- SLAMA, F. Effet du chlorure de sodium sur la croissance et la nutrition minérale de six espèces de plantes cultivées. *Agron. Trop.*, 41:21-26, 1986.
- SOLOMON, M.; GEDALOVICH, E.; MAYER, A.M. & POLJAKOFF-MAYBER, A. Changes induced by salinity to the anatomy and morphology of excised pea roots in hydroponic culture. *Ann. Bot.*, 57:47-53, 1986.
- TAIZ, L. & ZEIGER, E. *Plant physiology*. Sunderland, Sinauer, 2002. 690p.
- VIANA, S.B.A.; RODRIGUES, L.N.; FERNANDES, P.D. & GHEYI, H.R. Produção de alface em condições de salinidade a partir de mudas produzidas com e sem estresse salino. *R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental*, 5:60-66, 2001.
- ZHU, J. Plant salt tolerance. *Trends Plant Sci.*, 6:66-71, 2001.

APÊNDICE

Quadro 1A. Análise de variância da porcentagem de plântulas normais (PPN), do comprimento do hipocótilo (CH) e da produção de matéria seca de plântulas (PMSP) de duas cultivares de feijoeiro germinadas em soluções salinas de condutividade elétrica igual a 6 dS/m

| Fonte de Variação | GL | Quadrado Médio | | |
|----------------------|----|----------------|------------|------------|
| | | PPN | CH | PMSP |
| Blocos | 3 | 72,0238 | 6,8750 | 1,8368 |
| Cultivar | 1 | 28,5714 | 474,4464** | 416,3802** |
| Sal d/Diamante Negro | 6 | 22,3214 | 884,9524** | 798,8287** |
| Sal d/OPNS 331 | 6 | 140,4762** | 572,1190** | 436,4276** |
| Resíduo | 39 | 26,5110 | 5,8622 | 5,1916 |
| CV (%) | | 6,17 | 5,89 | 7,15 |

** : Significativo a 1 % pelo teste F.

Quadro 2A. Análise de variância da porcentagem de plântulas normais (PPN) e do comprimento do hipocótilo (CH) de duas cultivares de feijoeiro germinadas em soluções salinas de concentração igual a 60 mmol/L

| Fonte de Variação | GL | Quadrado Médio | |
|----------------------|----|----------------|------------|
| | | PPN | CH |
| Blocos | 3 | 119,6428** | 6,6190 |
| Cultivar | 1 | 1,7857 | 208,2858** |
| Sal d/Diamante Negro | 6 | 1,568,750** | 695,4759** |
| Sal d/OPNS 331 | 6 | 1,424,405** | 530,3690** |
| Resíduo | 39 | 25,0917 | 5,4267 |
| CV (%) | | 7,40 | 6,27 |

** : Significativo a 1 % pelo teste F.

Quadro 3A. Análise de variância da produção de matéria seca de folhas (MSF), pecíolos (MSP), caules (MSC), parte aérea (MSPA) e raízes (MSR) e da relação entre a produção de matéria seca da parte aérea e a das raízes (PA/R) de duas cultivares de feijoeiro germinadas em soluções salinas e crescidas em soluções nutritivas com 60 mmol/L de sal

| Fonte de Variação | GL | Quadrado Médio | | | | | |
|-------------------|----|----------------|----------|----------|----------|----------|---------|
| | | MSF | MSP | MSC | MSPA | MSR | PA/R |
| Blocos | 3 | 1,1996** | 0,0787** | 0,2665** | 3,4778** | 0,0305* | 27,868 |
| Cultivar | 1 | 0,00164 | 0,0955** | 0,0402 | 0,0067 | 0,1529** | 16,657 |
| Trat, d/DN | 6 | 12,145** | 0,1962** | 1,1136** | 23,960** | 1,0756** | 26,980 |
| Trat, d/OPNS | 6 | 9,7928** | 0,3261** | 0,7385** | 19,022** | 0,6401** | 44,772* |
| Resíduo | 39 | 0,1335 | 0,0121 | 0,0308 | 0,2946 | 0,0104 | 17,469 |
| CV (%) | | 13,72 | 30,51 | 29,92 | 15,03 | 15,97 | 58,10 |

** : Significativo a 5 e 1 %, respectivamente, pelo teste F.

Quadro 4A. Análise de variância da área foliar (AF), da produção de matéria seca de folhas (MSF), pecíolos (MSP), caules (MSC), parte aérea (MSPA) e raízes (MSR), da relação entre a produção de matéria seca da parte aérea e a das raízes (PA/R) e da área foliar específica (AFE) de duas cultivares de feijoeiro germinadas em água deionizada e crescidas em soluções nutritivas com 60 mmol/L de sal

| Fonte de Variação | LG | Quadrado Médio | | | |
|-------------------|----|----------------|----------|----------|-----------|
| | | AF | MSF | MSP | MSC |
| Blocos | 3 | 59516** | 5,1414** | 0,1302** | 1,5719** |
| Cultivar | 1 | 1408 | 20,895** | 5,0850** | 4,7306** |
| Tratamento d/DN | 7 | 778624** | 36,224** | 0,6045** | 6,4850** |
| Tratamento d/OPNS | 7 | 741017** | 34,127** | 1,5113** | 8,4445** |
| Resíduo | 45 | 7960 | 0,2112 | 0,01786 | 0,08099 |
| CV (%) | | 9,12 | 6,89 | 9,94 | 10,72 |
| | | MSPA | MSR | PA/R | AFE |
| Blocos | 3 | 14,812** | 0,4236** | 7,599** | 344,8 |
| Cultivar | 1 | 81,020** | 0,0992* | 43,064** | 13566,0** |
| Tratamento d/DN | 7 | 84,772** | 1,2793** | 11,955** | 1631,2** |
| Tratamento d/OPNS | 7 | 96,763** | 1,3767** | 13,242** | 3149,0** |
| Resíduo | 45 | 0,4001 | 0,01797 | 1,0908 | 232,35 |
| CV (%) | | 5,93 | 12,16 | 10,24 | 10,23 |

*, **: Significativo a 5 e 1 %, respectivamente, pelo teste F.

Quadro 5A. Análise de variância do teor de sódio, de potássio, de cálcio e de magnésio em folhas, pecíolos, caules e raízes de duas cultivares de feijoeiro germinadas em água deionizada e crescidas em soluções nutritivas com 60 mmol/L de sal

| Fonte de Variação | GL | Quadrado Médio | | | |
|----------------------|----|----------------|------------|-----------|------------|
| | | Folhas | Pecíolos | Caules | Raízes |
| Sódio | | | | | |
| Blocos | 3 | | 0,08590* | 0,02748 | 0,02299 |
| Cultivar | 1 | | 0,22162** | 0,11063** | 0,14074 |
| Sal d/Diamante Negro | 7 | | 3,98440** | 7,86661** | 6,46478** |
| Sal d/OPNS 331 | 7 | | 3,04000** | 6,91902** | 5,55081** |
| Resíduo | 45 | | 0,02602 | 0,01405 | 0,03970 |
| CV (%) | | | 17,12 | 8,85 | 18,17 |
| Potássio | | | | | |
| Blocos | 3 | 0,22804 | 1,32412* | 0,44639 | 1,69229** |
| Cultivar | 1 | 0,00939 | 0,00026 | 1,48784* | 0,32894 |
| Sal d/Diamante Negro | 7 | 3,40731** | 7,40940** | 9,47489** | 22,87273** |
| Sal d/OPNS 331 | 7 | 2,72495** | 10,03273** | 3,17473** | 23,29119** |
| Resíduo | 45 | 0,10438 | 0,44099 | 0,25884 | 0,28891 |
| CV (%) | | 10,76 | 17,39 | 20,24 | 16,75 |
| Cálcio | | | | | |
| Blocos | 3 | 0,01332 | 0,05065* | 0,00989 | |
| Cultivar | 1 | 0,05550 | 0,02261 | 0,03508 | |
| Sal d/Diamante Negro | 7 | 0,70459** | 0,14965** | 0,06188** | |
| Sal d/OPNS 331 | 7 | 0,45395** | 0,08524** | 0,11551** | |
| Resíduo | 45 | 0,03281 | 0,01229 | 0,01717 | |
| CV (%) | | 10,09 | 11,16 | 12,75 | |
| Magnésio | | | | | |
| Blocos | 3 | 0,00086 | 0,00006 | 0,00082 | 0,00911* |
| Cultivar | 1 | 0,00047 | 0,00002 | 0,00011 | 0,00289 |
| Sal d/Diamante Negro | 7 | 0,01309** | 0,00106** | 0,00907** | 0,01933** |
| Sal d/OPNS 331 | 7 | 0,00848** | 0,00152** | 0,00999** | 0,01211** |
| Resíduo | 45 | 0,00116 | 0,00033 | 0,00069 | 0,00248 |
| CV (%) | | 14,20 | 13,68 | 15,92 | 21,69 |

*, **: Significativo a 5 e 1 %, respectivamente, pelo teste F.

Quadro 6A. Análise de variância do teor de sódio em folhas e do teor de cálcio em raízes de duas cultivares de feijoeiro germinadas em água deionizada e crescidas em soluções nutritivas com 60 mmol/L de sal

| FV | GL | Quadrado Médio | | | |
|---------|----|-------------------------|-----------|--------------------------|-----------|
| | | Teor de Sódio em Folhas | | Teor de Cálcio em Raízes | |
| | | Diamante Negro | OPNS 331 | Diamante Negro | OPNS 331 |
| Blocos | 3 | 0,03153 | 0,00129 | 0,19932 | 0,33606 |
| Sal | 7 | 1,08509** | 0,85395** | 12,3375** | 14,5766** |
| Resíduo | 21 | 0,02109 | 0,00230 | 0,11918 | 0,79869 |
| CV (%) | | 32,44 | 12,36 | 18,34 | 53,03 |

** : Significativo a 1 % pelo teste F.

Quadro 7A. Análise de variância da quantidade de sódio, de potássio, de cálcio e de magnésio em folhas, pecíolos, caules e raízes de duas cultivares de feijoeiro germinadas em água deionizada e crescidas em soluções nutritivas com 60 mmol/L de sal

| Fonte de Variação | GL | Quadrado Médio | | | |
|----------------------|----|----------------|-------------|-------------|-------------|
| | | Folhas | Pecíolos | Caules | Raízes |
| Sódio | | | | | |
| Blocos | 3 | 14,35681 | 21,54810** | 135,8291** | 40,95224* |
| Cultivar | 1 | 141,62770** | 111,6327** | 397,2964** | 15,18035 |
| Sal d/Diamante Negro | 7 | 2931,6160** | 340,1225** | 1394,6260** | 591,76950** |
| Sal d/OPNS 331 | 7 | 3469,5940** | 479,4381** | 2247,3660** | 443,35610** |
| Resíduo | 45 | 14,99115 | 4,57753 | 20,52457 | 9,67782 |
| CV (%) | | 17,03 | 21,27 | 19,74 | 32,34 |
| Potássio | | | | | |
| Blocos | 3 | 7191,6810** | 683,4313** | 2184,1460** | 727,5413** |
| Cultivar | 1 | 7326,8570** | 7903,986** | 8,96386 | 85,11559 |
| Sal d/Diamante Negro | 7 | 57153,20** | 1262,543** | 14485,01** | 6123,541** |
| Sal d/OPNS 331 | 7 | 25862,26** | 4912,134** | 7523,8550** | 7273,822** |
| Resíduo | 45 | 678,71940 | 110,41190 | 238,36450 | 111,9165 |
| CV (%) | | 13,23 | 20,72 | 22,29 | 24,86 |
| Cálcio | | | | | |
| Blocos | 3 | 2984,5430** | 9,02146 | 234,11130** | 61,54036 |
| Cultivar | 1 | 14186,150** | 450,89460** | 631,02920** | 10,11519 |
| Sal d/Diamante Negro | 7 | 4759,6940** | 137,86720** | 680,67580** | 216,08530** |
| Sal d/OPNS 331 | 7 | 8858,2980** | 320,39040** | 723,27250** | 365,97990** |
| Resíduo | 45 | 282,48540 | 3,41489 | 24,27930 | 29,39906 |
| CV (%) | | 14,81 | 13,51 | 18,43 | 36,26 |
| Magnésio | | | | | |
| Blocos | 3 | 34,85030** | 0,24846 | 4,78197** | 3,78731** |
| Cultivar | 1 | 199,00570 | 7,8943** | 14,6713** | 0,00248 |
| Sal d/Diamante Negro | 7 | 116,29990** | 1,40981** | 10,92917** | 7,90098** |
| Sal d/OPNS 331 | 7 | 131,2570** | 2,72680** | 14,28950** | 9,73280** |
| Resíduo | 45 | 6,884597 | 0,11005 | 0,42132 | 0,73154 |
| CV (%) | | 17,31 | 18,69 | 15,83 | 34,41 |

*, **: Significativo a 5 e 1 %, respectivamente, pelo teste F.

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)