



Germinação, vigor e crescimento de cultivares de feijoeiro em soluções salinas¹

Patrícia R. dos Santos², Hugo A. Ruiz³, Júlio C.L. Neves³, Everson F. de Almeida⁴, Maria B. G. S. Freire⁵ & Fernando J. Freire⁵

RESUMO

Para se isolar os efeitos de concentrações elevadas de diferentes sais em solução, com respostas à pressão osmótica, tipos de sais e pH, realizaram-se dois ensaios com duas cultivares de feijoeiro: Diamante Negro e OPNS 331. Os tratamentos constituíram-se de soluções de NaNO_3 , NaCl , NaHCO_3 , KNO_3 , KCl ou KHCO_3 , e um controle sem acréscimo de sais, em delineamento em blocos casualizados, com quatro repetições; no primeiro ensaio, estudaram-se a germinação e o vigor em soluções de 60 mmol L^{-1} e o crescimento em solução nutritiva salina e, no segundo, as sementes foram germinadas em água deionizada e as plântulas transplantadas para a solução nutritiva acrescida de 60 mmol L^{-1} dos sais, nos valores de pH indicados, com um tratamento adicional em que a solução nutritiva com NaCl teve seu pH elevado a 8,5, como o das soluções de bicarbonato, testando-se o efeito do pH. Nos dois feijoeiros estudados, foram avaliadas variáveis de crescimento das plantas. A salinidade promoveu redução no crescimento das duas cultivares de feijoeiro estudadas e os efeitos prejudiciais de concentrações salinas e pH elevados, podem ser hierarquizados segundo a ordem: pressão osmótica > alcalinidade > bicarbonato \approx cloreto > sódio.

Palavras-chave: salinidade, alcalinidade, *Phaseolus vulgaris*

Germination, vigor and growth of bean cultivars in saline solutions

ABSTRACT

To isolate the effects of high concentrations of different salts in solution, response of osmotic pressure, kind of salts, and pH two trials were performed with two bean cultivars: Diamante Negro and OPNS 331. The treatments consisted of NaNO_3 , NaCl , NaHCO_3 , KNO_3 , KCl , or KHCO_3 solutions, and a control without salts, in a randomized block design, with four replicates. In the first trial, germination and vigor were studied in 60 mmol L^{-1} solutions and growth in a nutrient solution enriched with salts at the indicated concentration. In the second trial, the seeds were germinated in deionized water and the seedlings were transplanted to nutrient solution with 60 mmol L^{-1} salts at the indicated pH, with an additional treatment in which the pH of the nutrient solution with NaCl was raised to 8.5 to coincide with the bicarbonate solution. The plant growth variables were evaluated for the two bean cultivars studied. The salinity promoted reductions in growth and the harmful effects caused by high salt concentrations and pH, in both common bean varieties under study, may be ranked in the order: osmotic pressure > alkalinity > bicarbonate \approx chloride > sodium.

Key words: salinity, alkalinity, *Phaseolus vulgaris*

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

² Doutoranda em Ciência do Solo/UFV, Bolsista/CNPq. Rua D. Manoel de Medeiros s/n. Dois Irmãos, CEP 52171-900, Recife, PE. Fone (81) 3320 6241. E-mail: patufupe@yahoo.com.br

³ Departamento de Solos/UFV, Campus Universitário, Av. Ph Holfs s/n, CEP 36571-000, Viçosa, MG. Fone (31) 3899 1052. E-mail: hruiz@ufv.br; julio@solos.ufv.br

⁴ Graduando de Agronomia/UFV. E-mail: somufv@yahoo.com.br

⁵ Departamento de Agronomia/UFV. Av. Dom Manoel de Medeiros s/n. Dois Irmãos, CEP 52171-900, Recife, PE. Fone (81) 3320 6242. E-mail: betania@depa.ufv.br; f.freire@depa.ufv.br

INTRODUÇÃO

O acúmulo de sais nos solos é comum em regiões áridas e 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. Em perímetros irrigados quando o suprimento de água é feito de forma inadequada este efeito se torna mais acentuado e o acúmulo de sais prejudica 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, porém a contribuição de cada um desses fatores na restrição do crescimento vegetal exige, ainda, pesquisas. Trabalhos realizados com a utilização de soluções nutritivas normalmente efetuam a germinação das sementes em água, em ambiente notadamente diferenciado daquele encontrado quando a germinação é realizada em solos afetados por sais, nas condições em que o vigor das plântulas é comprometido, tal como a posterior adaptação às condições do meio adverso, o que poderá levar a resultados eventualmente divergentes.

A sobrevivência das espécies vegetais em ambientes salinos depende, entre outros fatores, do grau de salinização e do tipo de planta considerada; desta forma, os limites de sobrevivência podem variar, tanto entre espécies quanto entre cultivares de uma mesma espécie (Parida & Das, 2005). Orcutt & Nilsen (2002) relataram redução de 50% na produção do feijoeiro, quando crescido em solo salino com condutividade elétrica de 3,5 dS m⁻¹ no extrato da pasta de saturação, com danos mais expressivos na parte aérea que nas raízes das plantas. Costa et al. (2003) testaram diferentes cultivares de *Vigna unguiculata* em solução com 75 mmol L⁻¹ de NaCl e observaram que o grau de tolerância a salinidade variou de cultivar para cultivar.

Apesar de sensível à salinidade, o cultivo do feijoeiro é amplamente difundido em regiões semi-áridas do Nordeste brasileiro, inclusive em perímetros irrigados. Uma alternativa para melhorar a produtividade desta cultura seria o estudo de diferentes materiais genéticos submetidos às condições de elevada concentração salina da solução do solo, para selecionar os mais adaptados. De Paula et al. (1994) observaram que a salinidade pouco inibiu a germinação de sementes de diversas variedades de feijoeiro mas reduziu drasticamente o vigor das plântulas. 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. Avaliando os mecanismos envolvidos na tolerância à salinidade de cultivares de feijão caupi, Wilson et al. (2006) concluíram que, mesmo a salinidade influenciando sobre a produção, alterações na fotossíntese não explicariam as diferentes tolerâncias das cultivares à salinidade; por outro lado, a natureza dos sais em solução pode influir no efeito tóxico dos íons sobre as plantas, sendo os mais tóxicos os 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). 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 Na₂SO₄, NaHCO₃, MgSO₄ e CaCl₂. A toxicidade do NaHCO₃ e do Na₂SO₄ sobre o crescimento de plantas de duas cultivares de alface foi estudada por Bie & Shinohara (2004), que constataram severo decréscimo das variáveis de crescimento em função da toxicidade de HCO₃⁻ e do elevado pH; esta resposta também foi observada por Navarro et al. (2000) em pesquisa realizada com tomate. A presença do HCO₃⁻ e o elevado pH no meio de cultivo provocaram redução de biomassa mais acentuada na comparação com outros sais.

Devido à deficiência de estudos que relacionem os efeitos de diferentes sais em solos cultivados com feijoeiro, neste trabalho se objetivou determinar os efeitos da pressão osmótica, sódio, cloreto, bicarbonato e pH sobre duas cultivares de feijoeiro, por meio de ensaios de germinação, vigor e crescimento, em solução nutritiva.

MATERIAL E MÉTODOS

Primeiro experimento

Sementes de cultivares comerciais de feijão, Diamante Negro (DN) e OPNS 331, foram germinadas em água deionizada ou em soluções de NaNO₃, NaCl, NaHCO₃, KNO₃, KCl e KHCO₃, de concentração igual a 60 mmol L⁻¹. 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, em volume equivalente a 2,5 vezes o peso do papel seco (De Paula et al., 1994).

Os rolos foram mantidos em germinador regulado a 25 °C, durante cinco dias; após este período, contaram-se as plântulas normais, ou seja, aquelas intactas, saudáveis e sem anomalias em comparação com a população, expressando-se os resultados em bases percentuais. Determinou-se, também, o comprimento do hipocótilo, com o uso de paquímetro; logo em seguida, as plântulas foram transportadas para casa de vegetação e utilizadas no ensaio de crescimento; 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 durante dois dias; decorrido este tempo, os vasos receberam solução nutritiva completa, acrescida, quando indicado, de 60 mmol L⁻¹ de NaNO₃, NaCl, NaHCO₃, KNO₃, KCl ou KHCO₃.

O ensaio correspondeu a um arranjo fatorial [2 x (1 + 6)], sendo duas cultivares, uma testemunha e seis tratamentos salinos, montado em 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 a 5,5 (Ruiz, 1997), adicionando-se solução de hidró-

xido 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 secados em estufa de ventilação forçada, a 75 °C, e pesados.

Segundo experimento

Sementes das duas cultivares foram germinadas em água deionizada e plântulas foram selecionadas e transferidas para vasos de 4.000 mL, contendo a solução nutritiva específica para feijoeiros, diluída a ½ força, permanecendo nessas condições durante dez dias; após este período, os vasos receberam solução nutritiva completa, acrescida, quando indicado, de 60 mmol L⁻¹ de NaNO₃, NaCl, NaHCO₃, KNO₃, KCl ou KHCO₃; acrescentou-se, neste ensaio, um tratamento com 60 mmol L⁻¹ de NaCl e pH 8,5, para compará-lo com o NaHCO₃ nas mesmas condições de alcalinidade.

Neste ensaio, a germinação dos feijoeiros realizada em água deionizada permitiu a comparação de plantas germinadas em condições desfavoráveis, como no primeiro ensaio, com aquelas que receberam os tratamentos salinos em uma etapa mais avançada de crescimento e desenvolvimento. A inclusão de um tratamento com solução de cloreto de sódio com pH ajustado a 8,5, permitiu isolar o efeito do pH sobre as variáveis de crescimento, quando comparados o cloreto e o bicarbonato de sódio no mesmo valor de pH; ressalta-se que o ajuste de soluções de bicarbonato a baixos valores de pH não é possível em virtude da liberação de CO₂, que leva à perda de bicarbonato da solução.

O ensaio, em um arranjo fatorial 2 (1 + 7), ou seja, duas cultivares, uma testemunha e sete tratamentos salinos, 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

Tabela 1. Contrastes analisados para cada cultivar

Tratamento	Contraste ¹						
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
Testemunha	6	0	0	0	0	0	0
NO ₃ ⁻	-1	1	3	0	0	0	0
Na ⁺ 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
NO ₃ ⁻	-1	-1	0	0	0	2	0
K ⁺ Cl ⁻	-1	-1	0	0	0	-1	1
HCO ₃ ⁻	-1	-1	0	0	0	-1	-1

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

características fenológicas, determinando-se a área foliar e a biomassa seca de folhas, pecíolos, caules e raízes; calculou-se a relação parte aérea/raízes dividindo-se a produção de matéria seca da parte aérea e das raízes e a área foliar específica pela razão entre a área foliar e a produção de matéria seca das folhas.

Os resultados experimentais foram analisados estatisticamente, através do Sistema para Análises Estatísticas e Genéticas (SAEG), comparando-se as cultivares e os tratamentos salinos. A Tabela 1 apresenta o desdobramento dos graus de liberdade dos tratamentos salinos em contrastes.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Primeiro ensaio

Os valores médios da porcentagem de plântulas normais (PPN) e do comprimento do hipocótilo (CH) são apresentados na Tabela 2. A comparação da testemunha com os tratamentos que receberam soluções salinas mostrou que a PPN foi menos afetada que o CH. As porcentagens de redução, confrontando a testemunha com a média dos tratamentos salinos, para a cultivar Diamante Negro (DN) e OPNS 331 (OPNS), foram de 13 e 9% (PPN) e de 46 e 48% (CH), respectivamente, indicando diferenças entre os materiais genéticos estudados. 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-se o CH das duas cultivares, observa-se que a diferença significativa entre elas resultou em valor 2% inferior para OPNS (Tabela 2); já no confronto da testemunha com a média dos tratamentos salinos para cada cultivar, consta-

Tabela 2. Porcentagem de plântulas normais (PPN) e comprimento do hipocótilo (CH) de duas cultivares de feijoeiro germinado em soluções salinas de 60 mmol L⁻¹ e testemunha

Cultivar	Tratamento	PPN (%)	CH (mm)	
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 trat. 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 trat. 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

tou-se redução no CH 2% mais acentuada para a OPNS, indicando que as diferenças no CH devem ser atribuídas mais às 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 (Tabela 3); desta forma, nos feijoeiros o sódio foi mais prejudicial que o potássio; dentre os ânions, a ordem de redução respondeu à sequência bicarbonato > cloreto > nitrato. Provavelmente, o potássio e o nitrato, por serem nutrientes vegetais, só acarretam problemas às plantas pelo efeito osmótico enquanto o sódio e o bicarbonato, que não são nutrientes, e o cloro, exigido em pequenas concentrações por ser micronutriente, promovem efeitos tóxicos nas plantas de feijão. Observa-se, nos estágios iniciais de crescimento e desenvolvimento de feijoeiros, que já existe resposta diferenciada aos íons presentes na solução, quando em concentrações elevadas.

Tabela 3. Contrastes (C) médios comparando-se 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⁻¹ e testemunha

Variável dependente	Contraste 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

Visto que o CH é uma variável mais sensível à presença de sais que a PPN, os valores das médias e dos contrastes médios (Tabelas 2 e 3) do CH permitem elaborar uma escala de fatores adversos ao crescimento das plantas. As diferenças foram mais evidentes para a Diamante Negro (DN), indicando que a elevada pressão osmótica da solução é o motivo principal de redução no CH; em ordem decrescente de importância se localizam os ânions, com destaque para o bicarbonato, e o sódio em relação ao potássio. O efeito da pressão osmótica também foi evidente para a OPNS (Contraste 1, Tabela 3); esta cultivar acompanha a sequência mostrada para a DN em relação à presença de sais na solução nutritiva, porém com decréscimos menos acentuados.

Comparando-se as duas cultivares estudadas quanto à produção de matéria seca nas partes da planta (Tabela 4), observaram-se diferenças na produção de matéria seca de pecíolos e raízes, mas não na de folhas e caules; a parte aérea, em conjunto, também não apresentou diferenças estatisticamente significativas acompanhando os resultados mostrados pela matéria seca das folhas.

As variáveis de crescimento são particularmente sensíveis ao efeito salino; 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 (Tabela 4) 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); deste modo, a queda de biomassa seca pode interferir

Tabela 4. 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⁻¹ de sais e testemunha

Cultivar	Tratamento	MSF	MSP	MSC	MSPA	MSR	PA/R (g g ⁻¹)	
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 trat. 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	5,809
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 trat. 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

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). Em estudo com plantas de feijão-de-corda (*Vigna unguiculata*) submetidas a diferentes soluções salinas, Sousa et al. (2007) observaram que a salinidade reduziu o crescimento vegetativo, independentemente da composição química das águas de irrigação.

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 ao 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 se observou, também, aumento acentuado da PA/R nos tratamentos que receberam bicarbonato de sódio, devido à redução acentuada da produção de matéria seca de raízes das plantas que receberam tais tratamentos (Tabela 4).

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; desta maneira, a utilização de valores relativos permite melhor diferenciação nesse tipo de análise. A Tabela 5 apresenta a porcentagem de redução da produção de matéria seca das plantas de cada cultivar, comparando-se os resultados obtidos no tratamento testemunha com a média dos tratamentos que incluem soluções com 60 mmol L⁻¹ de sal (valores extraídos da Tabela 4). Em acréscimo, incluiu-se a redução no comprimento do hipocótilo, calculada com os resultados da Tabela 1.

Pela comparação dos resultados da Tabela 5, verifica-se, nos feijoeiros estudados, que a porcentagem de redução do hipocótilo foi inferior aquela determinada para a produção de matéria seca, independentemente da porção da planta analisada, indicando que os feijoeiros sofrem mais os efeitos da

salinidade com o avanço nas etapas de crescimento e desenvolvimento.

Os resultados da Tabela 5 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⁻¹ de NaCl mas que, possivelmente, não sobreviveriam até a maturidade. Ferreira et al. (2001), comparando duas épocas de colheita da goiabeira notaram 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 se comparou a colheita aos 30 dias com a realizada aos 50 dias do início do ensaio.

A comparação das médias gerais das variáveis, apresentadas na Tabela 4, com as porcentagens de redução, mostradas na Tabela 5, permite verificar que aquelas estatisticamente diferentes (Tabela 4) são as que manifestam menores diferenças nas reduções de produção, em resposta ao tratamento salino (Tabela 5), o que permite ratificar que as diferenças indicadas respondem mais às características intrínsecas das cultivares.

A semelhança na resposta para produção de matéria seca de folhas e caules (Tabela 4), é justificada pela disparidade da redução, quando plantas das duas cultivares foram submetidas a tratamentos salinos (Tabela 5); em consequência, a comparação da produção de matéria seca de folhas com valores relativos, em plantas adultas, seria o indicador mais apropriado para se estudar materiais genéticos, visando tolerância ao sal; segundo este critério, a cultivar DN seria mais susceptível à salinidade que a OPNS, com maiores reduções nos tratamentos salinos (Tabela 5). A escolha da opção pela parte aérea da planta como um todo reduziria a sensibilidade da determinação.

Os contrastes médios através dos quais se analisou a resposta aos tratamentos salinos, são apresentados na Tabela 6. A redução acentuada do crescimento nas plantas sob salinidade, como mostrado pelo contraste 1 da Tabela 6, tem sido atribuída à menor quantidade de água absorvida pelas plantas nesse meio, em virtude da diminuição do potencial osmótico, ao efeito tóxico de íons absorvidos em excesso ou à combinação de ambos.

Verifica-se, contudo, que os valores de produção com que se comparam os tratamentos de sódio aos de potássio mostraram que, em geral, não houve diferenças para a cultivar DN apresentando apenas alguns valores significativos para OPNS (Contraste 2, Tabela 6); este evento mostra 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-se os ânions, o bicarbonato foi o mais prejudicial ao crescimento para todas as características estudadas, seguido do cloreto e do nitrato (Tabela 6). Os efeitos nocivos do bicarbonato sobre o crescimento de plantas tam-

Tabela 5. 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⁻¹ de sais

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

Tabela 6. Contrastes médios comparando-se 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⁻¹ de sais

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)	-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 ⁻¹)	-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

bém foram relatados por Bie et al. (2004) que, ao trabalharem com duas cultivares de alface crescidas em soluções com bicarbonato ou sulfato de sódio constataram que o bicarbonato em concentração de 7,5 mmol L⁻¹, foi mais prejudicial que o sulfato, em concentração de 60 mmol L⁻¹.

Através da produção de matéria seca de folhas como critério para diferenciação dos tratamentos (Tabela 5) verificasse, em etapa mais avançada de crescimento e desenvolvimento, que nesses feijoeiros os efeitos prejudiciais, em razão das elevadas concentrações salinas, podem ser hierarquizados

segundo a ordem: pressão osmótica > bicarbonato > cloreto > sódio (Tabelas 4 e 6).

Segundo ensaio

Neste ensaio, em que a germinação dos feijoeiros foi realizada em água deionizada e as plantas submetidas aos tratamentos salinos em uma etapa mais avançada de crescimento, a comparação das médias gerais das variáveis entre as cultivares permite observar diferenças significativas na produção de matéria seca mas não na área foliar (Tabela 7); neste en-

Tabela 7. 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⁻¹ de sais

Cultivar	Tratamento	AF (cm ²)	MSF (g)	MSP (g)	MSC (g)	MSPA (g)	MSR (g)	PA/R (g g ⁻¹)	AFE (cm ² g ⁻¹)	
Diamante Negro	Testemunha	1.620	10,835	1,768	4,715	17,318	2,15	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 trat. salinos	881	5,426	0,961	2,050	8,437	0,908	9,562	166
		Média Geral ¹	974 a	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 trat. salinos	883	6,371	1,454	2,551	10,376	0,983	11,203	136
		Média Geral ¹	983 a	7,245a	1,626a	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

saio, a área foliar mostrou tratar-se de uma determinação de menor sensibilidade para os objetivos da pesquisa mas em se tratando da comparação dos percentuais de redução apresentados na Tabela 8, a variação entre cultivares foi pequena, constatação que reforça a idéia de que as referidas respostas foram devidas às características intrínsecas das cultivares.

Tabela 8. 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⁻¹ de sais

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

O confronto entre as diferenças de redução para as duas cultivares, descritas nas Tabelas 5 e 8, permite indicar que em uma seleção de materiais genéticos é mais conveniente iniciar a aplicação dos tratamentos desde a etapa inicial (germinação); ressalta-se que houve tempo diferenciado na aplicação do estresse salino (27 e 21 dias) para os ensaios; considera-se, contudo, baixa a possibilidade da produção de matéria seca relativa sofrer alterações expressivas nesse período adicional de seis dias.

Neste ensaio deu-se inclusão de um tratamento com solução de NaCl com pH ajustado a 8,5; todavia, a fim de

permitir o confronto com os valores da Tabela 5, o tratamento com NaCl a pH 8,5 não foi considerado neste cálculo.

Os contrastes médios com que se analisou a resposta aos tratamentos salinos são apresentados na Tabela 9. No contraste 4 se comparam os resultados de plantas crescidas em solução com cloreto de sódio a pH 5,5 e 8,5; com os contrastes 5 e 7 se confrontam o cloreto e o bicarbonato de sódio a 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. Pelo que foi observado, o pH influenciou mais nas alterações verificadas do que o ânion presente em solução, sendo o pH mais elevado (8,5) o que promoveu maiores prejuízos ao desenvolvimento das plantas; sendo assim, as diferenças muitas vezes encontradas entre cloreto e bicarbonato podem advir do pH alcalino das soluções com bicarbonato e não do ânion propriamente dito.

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

Tabela 9. Contrastes médios comparando-se 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⁻¹ de sais

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)	-1,695**	-1,827**	-0,421	-0,412	-2,470**	2,221**	-2,754**
AFE (cm ² g ⁻¹)	-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**	-0,52	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	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)	-1,614**	1,935**	2,601**	0,156	-2,460**	-0,369	-4,207**
AFE (cm ² g ⁻¹)	-10	-14*	-11	44**	47**	-26**	33**

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

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

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.

Em relação aos dados apresentados neste ensaio, verifica-se que os efeitos prejudiciais decorrentes dos tratamentos aplicados podem ser hierarquizados segundo a ordem: pressão osmótica > alcalinidade > bicarbonato \approx cloreto > sódio (Tabelas 7 e 9), complementando os resultados obtidos no primeiro ensaio, com efeito negativo do pH elevado superando a toxidez por bicarbonato e cloreto.

CONCLUSÕES

1. As características associadas ao vigor são mais sensíveis à resposta de feijoeiros ao sal do que aquelas associadas à germinação e, avançando nos estágios de crescimento e desenvolvimento, as plantas sofrem, de forma mais acentuada, os efeitos desfavoráveis das concentrações salinas elevadas.

2. A germinação de sementes em soluções salinas em substituição à água deionizada é o procedimento mais adequado na comparação de respostas de cultivares de feijoeiros a sais.

3. Em feijoeiros germinados em soluções salinas e crescidos em solução nutritiva de elevada salinidade, a produção de matéria seca de folhas foi, isoladamente, o melhor indicador de resposta.

4. Os efeitos prejudiciais, decorrentes de concentrações salinas e pH elevados, podem ser hierarquizados, segundo a ordem: pressão osmótica > alcalinidade > bicarbonato \approx cloreto > sódio.

LITERATURA CITADA

- Azevedo Neto, A. D.; Tabosa, J. N. Estresse salino em plântulas de milho: Parte I. Análise do crescimento. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.4, p.159-164, 2000.
- Bie, Z.; Ito, T.; Shinohara, Y. Effects of sodium sulfate and sodium bicarbonate on the growth, gas exchange and mineral composition of lettuce. *Scientia Horticulturae*, v.99, p.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. *Revista Brasileira de Sementes*, v.18, p.10-16, 1996.
- 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. *Revista Brasileira de Botânica*, v.26, p.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. *Revista Brasileira de Sementes*, v.16, p.220-224, 1994.
- 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. *Journal of Plant Nutrition*, v.22, p.1495-1507, 1999.
- Ferreira, R. G.; Távora, F. J. A. F.; Hernandez, F. F. F. Distribuição da matéria seca e composição química das raízes, caule e folhas de goiabeira submetidas a estresse salino. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.36, p.79-88, 2001.
- Kaya, C.; Higgs, D.; Saltali, K.; Gezerel, O. Response of strawberry grown at high salinity and alkalinity to supplementary potassium. *Journal of Plant Nutrition*, v.25, p.1415-1427, 2002.
- Munns, R. Comparative physiology of salt and water stress. *Plant, Cell & Environment*, v.25, p.239-250, 2002.
- Murillo-Amador, B.; Troyo-Diéguez, E.; García-Hernandez, 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 Horticulturae*, v.108, p.423-443, 2006.
- Navarro, J. M.; Martínez, V.; Carvajal, M. Ammonium, bicarbonate and calcium effects on tomato plants grown under saline conditions. *Plant Science*, v.157, p.89-96, 2000.
- 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. *Journal of Cotton Science*, v.3, p.183-187, 1999.
- Parida, A. K.; Das, A. B. Salt tolerance and salinity effects on plants: A review. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, v.60, p.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. *Journal of Plant Nutrition*, v.22, p.1069-1078, 1999.
- Ruiz, H. A. Relações molares de macronutrientes em tecido vegetal como base para a formulação de soluções nutritivas. *Revista Ceres*, v.44, p.533-546, 1997.
- Silva, J. V.; Lacerda, C. F. de; 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 Physiology*, v.15, p.99-105, 2003.
- Sousa, R. A.; Lacerda, C. F. de; Amaro Filho, J.; Hernandez, F. F. F. Crescimento e nutrição mineral do feijão-de-corda em função da salinidade e da composição iônica da água de irrigação. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v.2, n.1, p.57-82, 2007.
- Wilson, C.; Liu, X.; Lesch, S. M.; Suarez, D. L. Growth response of major USA cowpea cultivars II: Effects of salinity on gas exchange. *Plant Science*, v.170, p.1095-1111, 2006.
- Zhu, J. Plant salt tolerance. *Trends in Plant Science*, v.6, p.66-71, 2001.