

Efeito do déficit hídrico sobre a fixação biológica de N₂ em cultivares de feijão comum



**Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Agrobiologia
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**

Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 94

Efeito do déficit hídrico sobre a fixação biológica de N₂ em cultivares de feijão comum

Helder Anderson P. da Silva
Vanessa Santana Caetano
Ana Carolina Mendes Bezerra
Marcia Soares Vidal
Jean Luiz Simões de Araújo

Embrapa Agrobiologia
Seropédica, RJ
2012

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Agrobiologia

BR 465, km 7, CEP 23.890-000, Seropédica, RJ

Caixa Postal 74505

Fone: (21) 3441-1500

Fax: (21) 2682-1230

Home page: www.cnpab.embrapa.br

Comitê de Publicações

Presidente: Norma Gouvêa Rumjanek

Secretária-Executivo: Marta Maria Gonçalves Bahia

Membros: Bruno José Rodrigues Alves, Carmelita do Espírito Santo,

Ednaldo da Silva Araújo, Luís Cláudio Marques de Oliveira,

Luiz Fernando Duarte de Moraes, Janaina Ribeiro Costa Rouws,

Luc Marie Felicianus Rouws, Márcia Reed Rodrigues Coelho

Supervisora editorial: Norma Gouvêa Rumjanek

Normalização bibliográfica: Carmelita do Espírito Santo

Tratamento de ilustrações: Maria Christine Saraiva Barbosa

Editoração eletrônica: Marta Maria Gonçalves Bahia

Foto da capa: Jean Luiz Simões de Araújo

1ª edição

1ª impressão (2012): 50 exemplares

Todos os direitos reservados

A reprodução não-autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Embrapa Agrobiologia

EFEITO do déficit hídrico sobre a fixação biológica de N₂ em cultivares de feijão comum. / Helder Anderson P. da Silva et al. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2012. 24 p. (Embrapa Agrobiologia. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 94).

ISSN 1676-6709

1. *Phaseolus vulgaris*. 2. Estresse hídrico. 3. Produtividade. I. Silva, Helder Anderson P. da. II. Caetano, Vanessa Santana. III. Bezerra, Ana Carolina Mendes. IV. Vidal, Marcia Soares. V. Araújo, Jean Luiz Simões de. VI. Embrapa Agrobiologia. VII. Série.

633.372 CDD 23.ed.

Sumário

Resumo	5
Abstract	7
Introdução	8
Material e Métodos	10
Resultados e Discussão	12
Conclusões	19
Referências Bibliográficas	20

Efeito do déficit hídrico sobre a fixação biológica de N₂ em cultivares de feijão comum

*Helder Anderson P. da Silva*¹

*Vanessa Santana Caetano*²

*Ana Carolina Mendes Bezerra*³

*Marcia Soares Vidal*⁴

*Jean Luiz Simões de Araújo*⁵

Resumo

A fixação biológica de nitrogênio (FBN) promovida pela inoculação de plantas com bactérias diazotróficas é uma alternativa para contornar o problema da baixa disponibilidade de nitrogênio no solo. No entanto, a reposta do feijoeiro a inoculação poder ser bastante variável em função dos efeitos negativos causados por estresses bióticos e abióticos. O efeito do déficit hídrico sobre a FBN de 13 cultivares de feijoeiro foi avaliado em experimentos de casa de vegetação. Os acúmulos de massa de seca (MSPA) e N na parte aérea (NTAPA), analisados 4 dias após o final de déficit hídrico, foram utilizados como indicadores da capacidade de FBN desses genótipos. A MSPA e o NTAPA diminuíram após o déficit hídrico para sete das treze cultivares avaliadas. Para as cultivares Carioca e Manteigão Fosco, esse efeito foi bastante pronunciado, com redução média de aproximadamente 42 e 37% no

¹ Doutorando pelo Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia Vegetal (PBV) - Centro de Ciências da Saúde (CCS) - UFRJ. E-mail: helderanderson@ufrj.br.

² Doutoranda pelo Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia Vegetal (PBV) - Centro de Ciências da Saúde (CCS) - UFRJ. E-mail: vancaet2006@gmail.com.

³ Graduanda em Agronomia pela UFRRJ. E-mail: carolina_mendes@ufrj.br.

⁴ Pesquisadora da Embrapa Agrobiologia, Bióloga, Dra. em Genética. BR 465, km 7, Seropédica, RJ. CEP 23890-000. E-mail: marcia.vidal@embrapa.br.

⁵ Pesquisador da Embrapa Agrobiologia, Eng. Agrônomo, Dr. em Genética. BR 465, km 7, Seropédica, RJ. CEP 23890-000. E-mail: jean.araujo@embrapa.br.

NTAPA e, de 40 e 24% na MSPA, respectivamente, sendo as mais afetadas pelo déficit hídrico. Para as cultivares Negro Argel, Ouro Negro e Jalo EEP558, os acúmulos de MSPA e NTAPA foram menos afetados, o que sugere uma boa capacidade de FBN, mesmo após o estresse. Os resultados mostram que a capacidade de tolerância da simbiose ao déficit hídrico é dependente do genótipo da planta hospedeira.

Effect of water stress on biological nitrogen fixation of common bean cultivars

Abstract

The biological nitrogen fixation (BNF) provided by plant inoculation with diazotrophic bacteria is an alternative to overcome the low plant availability of soil N. However, the response of common beans to inoculation can be variable as a consequence of negative effects caused by biotic and abiotic stresses, including water deficit. Greenhouse experiments were carried out to evaluate the effect of water deficit on the BNF of 13 common bean varieties. The dry weight (MSPA) and total N content (NTAPA) in shoots, as assayed 4 days after the end of the period of water restriction were used as indicators of the BNF capacity of the genotypes. In seven of thirteen cultivars the MSPA and NTAPA decreased due to water restriction. The effect on cultivars Carioca and Manteigão Fosco was rather marked with an average reduction of about 42 and 37% in NTAPA and 40 and 24% in the MSPA, respectively. Such cultivars were the most susceptible to water stress with regard to the BNF reliance. The MSPA and NTAPA were slightly affected in the cultivars Negro Argel, Ouro Negro and Jalo EEP558, suggesting a good BNF capacity even after water stress. Our results showed that for common beans the BNF resilience to water stress is dependent on the host plant genotype.

Keywords: Phaseolus vulgaris, drought, genotypes, water stress, common beans.

Introdução

Em países da América Latina e Leste da África, localizados nas regiões tropicais e sub tropicais, o cultivo do feijão-comum tem forte relevância social por ser a principal fonte de proteínas (GRAHAM; RANALLI, 1997), sendo muitas vezes, cultivado em regime de subsistência por pequenos agricultores. No Brasil, o feijoeiro é cultivado principalmente no estado do Paraná, região Centro-oeste, norte de São Paulo, sul de Minas Gerais e algumas localidades do Nordeste (SILVA; RIBEIRO, 2009), onde as condições edafoclimáticas são mais favoráveis à cultura.

Segundo dados do Levantamento Sistemático da Produção Agrícola (LSPA/IBGE, 2012), a produtividade média do feijoeiro passou de cerca de 200 kg.ha⁻¹ em 2001 para 951 kg.ha⁻¹ na safra de 2011; no entanto, há uma grande diferença nos níveis de produtividade das três principais regiões produtoras. As regiões Sul e Sudeste apresentam produtividades médias de 1.530 e 1.580 kg.ha⁻¹, respectivamente, enquanto para a região Nordeste, responsável por 23,4% da safra nacional de 2011, o rendimento médio da cultura foi extremamente baixo, próximo a 428 kg.ha⁻¹, bem distante do potencial que a cultura apresenta nas outras duas regiões (LSPA/IBGE, 2012). As produtividades observadas nas regiões Sul e Sudeste, provavelmente, se devem ao cultivo por grandes e médios produtores que utilizam tecnologias e insumos como, por exemplo, irrigação e fertilizantes (AIDAR; KLUTHCOUSKI, 2009).

Deficiências de nutrientes como o N e P e a acidez dos solos brasileiros são os principais fatores limitantes para obtenção de maiores rendimentos na cultura do feijoeiro (HUNGRIA et al., 1997). Além disso, segundo estimativas do Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), cerca de 40% da área plantada com feijoeiro na América Latina e, 60% das áreas no Oriente Médio e África apresentam deficiência de N (CIAT, 1990). Adicionalmente, o feijoeiro é considerado uma espécie pouco tolerante a estresses hídricos severos

e estima-se que de 40 a 60% da produção de feijão-comum dos países em desenvolvimento estão sob déficit hídrico (CIAT, 1990), tornando a seca o segundo maior limitador da produtividade, atrás apenas da incidência de doenças (GRAHAM; RANALLI, 1997). Nesse cenário onde ocorre falta de tecnologia, uso de solos de baixa fertilidade e cultivo em condições de estresse hídrico, a baixa produtividade do feijoeiro é uma constante.

A utilização da inoculação do feijoeiro com bactérias do grupo dos rizóbios é capaz de minimizar os danos causados pela limitação de N, e sob condições ambientais adequadas, podendo atender à maior parte das necessidades de N do feijoeiro (HUNGRIA et al., 1985). Do ponto de vista econômico, a FBN proporciona aumento da produtividade, com menor custo de produção; ambientalmente, reduz riscos de contaminação dos recursos hídricos decorrentes do acúmulo de nitrato (HUNGRIA et al, 1997). No entanto, apesar dos avanços obtidos com a inoculação de estipes elite, como CIAT 899, com maior capacidade de competir com as estirpes nativas do solo pelos sítios de infecção e maior tolerância a estresses abióticos, a reposta à inoculação ainda é bastante variável e altamente influenciada por condições de estresses como altas temperaturas e seca (GRAHAM, 1981). Mesmo que o sucesso da nodulação seja alcançado, um pequeno déficit hídrico ou moderada elevação na temperatura, desencadeiam a morte prematura dos nódulos funcionais e, muitas vezes, não há tempo hábil para o estabelecimento de novos nódulos em plena capacidade de fixação (HUNGRIA; FRANCO 1993). Nestas condições, o menor número de nódulos funcionais reduz o fornecimento de nitrogênio via FBN (RAMOS et al., 2003) e, conseqüentemente, levam à queda no potencial produtivo da cultura quando inoculada com rizóbios (SERRAJ; SINCLAIR, 1998). Efeitos deletérios adicionais à senescência dos nódulos têm sido observados. Ramos e colaboradores (1999) mostraram que o déficit hídrico provocou uma redução da difusão de oxigênio para a nitrogenase e diminuição de sua atividade. Além disso, o déficit hídrico provoca a redução da emissão de pêlos radiculares, descontinuidade da síntese de leg-hemoglobina e abortamento dos

nódulos (SERRAJ; SINCLAIR, 1998; GOORMACHTIG et al., 2004), acarretando uma baixa capacidade de FBN.

Muitos estudos relacionados à FBN no feijoeiro têm focado principalmente na seleção de estipes de rizóbio mais eficientes e tolerantes a estresses abióticos. Por outro lado, a seleção de cultivares da planta hospedeira para essa finalidade tem sido pouco utilizada (ALCANTARA et al., 2009). A planta tem grande importância no controle e manutenção do processo, havendo necessidade de seleção de genótipos mais responsivos a FBN e tolerantes a estresse em condições de simbiose.

Dessa forma, o objetivo deste estudo foi avaliar a capacidade de fixação biológica de nitrogênio (FBN) de diferentes cultivares de feijoeiro submetidas ao déficit hídrico.

Material e Métodos

A capacidade de FBN de 13 cultivares de feijoeiro foi avaliada em condições de estresse hídrico de 4 dias em casa de vegetação no Centro Nacional de Pesquisa de Agrobiologia - CNPAB (Embrapa Agrobiologia - Seropédica, RJ). Em função do grande número de genótipos estudado, foi necessária a condução de dois experimentos. No primeiro, as cultivares avaliadas foram BAT 477, Ouro Negro, Rio Tibagi, Safira e Carioca. Para o segundo experimento, utilizou-se as seguintes cultivares: Xamego, Aporé, Jalo EEP558, Negro Argel, Diamante Negro, Xodó, Constanza, Manteigão Fosco e Carioca (mantida nos dois experimentos como referência neste estudo). As plantas foram submetidas ao déficit hídrico aos 30 dias após emergência (DAE). A massa seca da parte aérea (MSPA) e o N total acumulado na parte aérea (NTAPA) foram utilizados para avaliar o efeito do déficit hídrico sobre a FBN nas diferentes cultivares.

Após essa avaliação inicial, as cultivares Negro Argel e BAT477, consideradas contrastantes, foram utilizadas em experimento adicional. Nesse experimento, as plantas foram submetidas ao estresse hídrico aos 25 DAE. Além das determinações de MSPA e NTAPA, foi realizado um ensaio de atividade de redução de acetileno (ARA) para estimar a atividade de FBN, segundo o procedimento descrito por Boddey et al. (2007). O ensaio de ARA foi realizado 10 dias após o término do estresse hídrico utilizando as raízes com os nódulos das plantas controle e submetidas ao estresse.

Antes do plantio, as sementes foram superficialmente desinfestadas em etanol absoluto por 1 minuto, seguido por peróxido de hidrogênio por 30 segundos e lavadas 10 vezes com água destilada estéril. As sementes foram plantadas em vasos plásticos (500 mL) contendo aproximadamente 950 g de areia/vermiculita na proporção de 2:1 (v/v) previamente esterilizada. Em seguida cada semente foi inoculada com uma mistura de 1 mL das estirpes BR520 e BR534 de *Rhizobium tropici* crescidas em meio YM (FRED; WASKMAN, 1928) durante 3 dias sob agitação de 120 rpm a temperatura de 30°C. As plantas foram mantidas em casa de vegetação com o fornecimento semanal de solução nutritiva de Norris (1964) isenta de N, até o momento da coleta.

As plantas foram submetidas ao déficit hídrico aos 30 dias após a emergência (DAE) nos dois experimentos iniciais e aos 25 DAE no terceiro, com o objetivo de aplicar o estresse na mesma fase de crescimento em todos os experimentos.

O Conteúdo Relativo de Água (CRA) na folha foi avaliado 4 dias após o início do déficit hídrico e utilizado como um indicador do nível de estresse. O valor de CRA foi determinado pela equação $RWC = (FW - DW) / (TW - DW) * 100$ (KOID et al., 1991), onde: RWC - Conteúdo Relativo de Água; FW - Peso fresco; DW - Peso Seco; TW - Peso Túrgido, segundo o procedimento descrito por Chartzoulakis et al. (1997). Após o período de déficit hídrico, as plantas foram reidratadas

com a saturação do substrato e coletadas 10 dias após a reidratação. A parte aérea foi acondicionada em sacos de papel, colocada para secar em estufa a 65°C até peso constante quando foram então pesadas para obtenção da MSPA.

As análises de NTAPA foram realizadas pelo método Kjeldahl segundo Nogueira e Souza (2005). Com a finalidade de comparar de forma global o desempenho das cultivares nos dois experimentos iniciais, os valores de MSPA e o NTAPA de cada cultivar foram comparados (controle vs. estresse) para obtenção do percentual de diminuição em função do déficit hídrico (Tab. 1).

O delineamento experimental utilizado nos experimentos I e III foi o inteiramente casualizado, com cinco repetições. Em função do tamanho do experimento II, foi utilizado o delineamento em blocos ao acaso, com três repetições. Após a realização do teste de homogeneidade utilizando o programa SAEG - Versão 9.1 (2007), a análise de variância dos dados foi feita utilizando o programa Sisvar - Versão 4.2 (FERREIRA, 2008). Para a comparação das médias de MSPA, NTAPA e ARA, foi utilizado o teste de Scott-Knott a 5% de significância.

Resultados e discussão

O CRA das plantas avaliado 4 dias após o início do estresse diminuiu significativamente em relação ao CRA das plantas controle para todas as cultivares avaliadas. Os valores observados de CRA indicaram que as plantas estavam sob condição de déficit hídrico (dados não apresentados). A coleta realizada 24 horas após a reidratação mostrou que as plantas restabeleceram seu status hídrico (Fig. 1). O NTAPA foi significativamente reduzido em seis das 13 cultivares e a MSPA foi reduzida em cinco das 13 cultivares, em função da exposição ao déficit hídrico (Tab. 1) e também significativa para Carioca nos dois experimentos. Para as cultivares Rio Tibagi, Xamego, Aporé, Jalo

Tabela 1. Massa seca (MSPA) e N total acumulado na parte aérea (NTAPA) de cultivares de feijoeiro submetidas ao déficit hídrico, e as respectivas variações em relação ao controle.

Cultivares		Tratamento	MSPA (g/planta)	Varição da MSPA (%)	NTAPA (mg/planta)	Varição de NTAPA (%)
Experimento I 5 cultivares	BAT 477	Controle	1,95 a	-23,59	67 a	-25,37
		Estresse	1,49 b		50 b	
	Carioca	Controle	2,20 a	-40,00	77 a	-48,05
		Estresse	1,32 b		40 b	
	Ouro Negro	Controle	1,86 a	-11,83	62 a	-22,58
		Estresse	1,64 a		48 b	
	Rio Tibagi	Controle	1,39 a	-18,71	44 a	-15,91
		Estresse	1,13 a		37 a	
	Safira	Controle	1,53 a	-20,26	49 a	-22,45
		Estresse	1,22 b		38 b	
Experimento II 9 cultivares	M. Fosco	Controle	3,82 a	-23,82	100a	-37,00
		Estresse	2,91 b		63 b	
	Xamego	Controle	3,02 a	-10,46	48 a	+ 12,50
		Estresse	2,704 a		54 a	
	Aporé	Controle	2,48 a	-22,58	49 a	-16,33
		Estresse	1,92 a		41 a	
	Jalo	Controle	3,02 a	-13,58	70 a	-11,43
		Estresse	2,61 a		62 a	
	EEP558 Negro	Controle	3,57 a	-8,40	61 a	+ 1,64
		Estresse	3,27 a		62 a	
	Diamante Negro	Controle	3,54 a	-29,10	66 a	-16,67
		Estresse	2,51 a		55 a	
	Carioca	Controle	4,05 a	-39,75	77 a	-36,36
		Estresse	2,44 b		49 b	
Xodó	Controle	4,04 a	-22,03	66 a	-21,21	
	Estresse	3,15 b		52 a		
Constanza	Controle	3,63 a	-14,88	85 a	-24,71	
	Estresse	3,09 a		64 b		

Os valores seguidos de mesma letra para cada cultivar, dentro de cada experimento, não diferem estatisticamente pelo teste F ($p > 0, 05\%$).

+ : indica o aumento (%) para a cultivar sob estresse hídrico em relação ao controle.

- : indica a redução (%) para a cultivar sob estresse hídrico em relação ao controle.

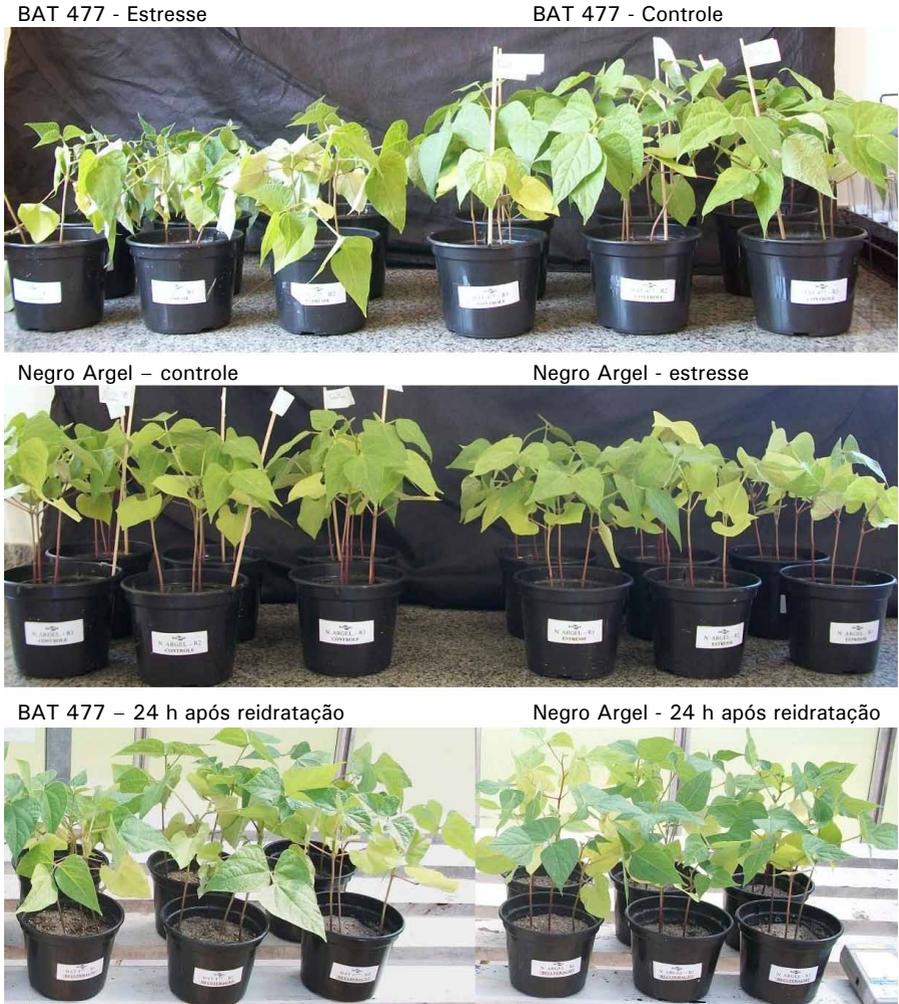


Fig. 1. Plantas de feijoeiro (*P. vulgaris* L.) cultivares BAT477 e Negro Argel ao final de um período de estresse hídrico de 4 dias e após 24 horas de reidratação das plantas em condições de casa de vegetação.

EEP558, Negro Argel e D. Negro, esse efeito não foi estatisticamente significativo. As plantas foram cultivadas na ausência de N mineral, e por isso pode-se deduzir que o N acumulado na parte aérea foi proveniente do processo de FBN. Desta forma, a redução no NTAPA das plantas sob déficit hídrico indica o nível de sensibilidade da FBN à condição de estresse. Para as cultivares M. Fosco (experimento II) e Carioca (experimento I) houve redução de 37 e 48% no NTAPA, respectivamente, sendo essas as mais sensíveis ao déficit hídrico (Tab. 1). O mesmo comportamento para a cultivar Carioca foi observado por Ramos et al. (2003). Esses autores mostraram que ocorreu a vacuolação das células, perda da membrana peribacteriana, degradação das células do citoplasma e liberação dos bacteróides nos espaços intercelulares após cinco dias de estresse hídrico. O acúmulo de N total em torno de 61-70 mg.planta⁻¹ observado para essas duas cultivares sugere maior tolerância da simbiose ao déficit hídrico. Vale ressaltar que a cultivar Carioca (utilizada como referência no estudo) apresentou-se sensível ao déficit hídrico quanto aos parâmetros avaliados em ambos os experimentos.

Recentemente, foi demonstrado o papel da cultivar e da estirpe inoculada na tolerância da simbiose ao estresse hídrico em plantas avaliadas aos 20 DAE (TAJINI et al., 2012). Nesse experimento a estirpe 12a3 foi mais eficiente que a CIAT899, quando inoculadas na cultivar Flamingo de feijoeiro, mostrando que a simbiose entre Flamingo e 12a3 tem potencial para uso em condições de déficit hídrico. Estirpes tolerantes ao estresse salino e, também, ao déficit hídrico apresentam maior competitividade e eficiência de FBN (MNASRI et al., 2007). Apesar do conhecido efeito das estirpes na manutenção da FBN sob déficit hídrico, muitos dos efeitos diretos e indiretos sobre a simbiose são dependentes, sobretudo, da planta hospedeira. Rodiño et al. (2011) testaram diferentes genótipos de feijoeiro no campo e em condições controladas e verificaram que a planta tem um forte efeito na morfogênese e biomassa de nódulos. Desta forma, espera-se que a capacidade de nodulação e tolerância a estresses tenham consequências na capacidade de resposta da planta em condições de

FBN. No entanto, Miranda e Bliss (1991) destacam que a reduzida capacidade de fixação simbiótica de nitrogênio em alguns genótipos de feijoeiro ocorre em decorrência do processo de domesticação sem pressão de seleção para simbiose com rizóbios. Deve-se mencionar que os mecanismos que atuam na tolerância à seca quando a planta está utilizando o N mineral são diferentes.

Devi et al. (2013) mostraram que há variabilidade genética para a capacidade de FBN em condição de déficit hídrico. No entanto, esses autores destacam que o feijoeiro com alta taxa de FBN em condições favoráveis mantém as mesmas taxas em condições de estresse. Por outro lado, Hardarson et al. (1993) mostraram que algumas cultivares de feijão tem sua capacidade de FBN reduzida quando expostas à condições ambientais desfavoráveis, como altas temperaturas e baixa umidade no solo. Essa aparente contradição, provavelmente ocorre em função das diferentes estratégias utilizadas por cada genótipo na tentativa de tolerar o déficit hídrico. Além disso, é muito difícil obter genótipos de feijoeiro que possuam distintos mecanismos de resistência aos múltiplos estresses limitantes à FBN, especialmente quando não foram expostos a esses estresses durante o processo de seleção (DEVI et al., 2013).

Além das análises de MSPA e NTAPA, um ensaio de redução de acetileno (ARA) foi realizado para estimar a atividade de FBN nas cultivares Negro Argel e BAT477, 10 dias após o término do déficit hídrico. Houve uma redução da atividade de FBN nas plantas submetidas ao déficit hídrico, sendo significativa somente para a cultivar BAT 477 com atividade 63% menor em relação ao controle (Fig. 2A). Mesmo não havendo diferença significativa, a cultivar Negro Argel em condição de estresse mostrou redução de 55% na atividade de FBN em relação ao controle (Fig. 2B). As mesmas plantas utilizadas no ARA também foram utilizadas para a determinação do NTAPA e MSPA. Os resultados observados para esses parâmetros confirmaram que a cultivar BAT 477 foi mais afetada pelo déficit hídrico que a cultivar Negro Argel (Fig. 3 e 4). A cultivar BAT 477 tem sido

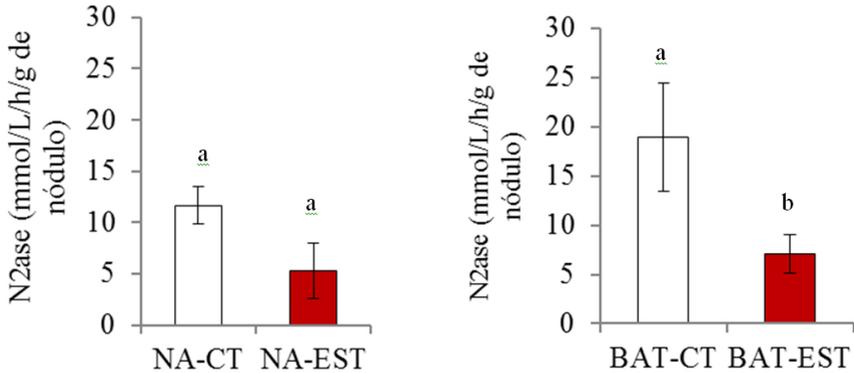


Fig. 2. A atividade da nitrogenase (mmol/L/h/g de nódulo) avaliada por redução de acetileno para as cultivares Negro Argel (A) e BAT 477 (B) dez dias após o término do déficit hídrico de 4 dias. NA-CT e NA-EST: Negro Argel Controle e Estresse, respectivamente; BAT-CT e BAT-EST: BAT 477 Controle e Estresse. Letras diferentes indicam que os tratamentos diferiram estatisticamente pelo teste de F a 5% de probabilidade. Barras de erro padrão das médias para 5 repetições são mostradas para cada cultivar/tratamento.

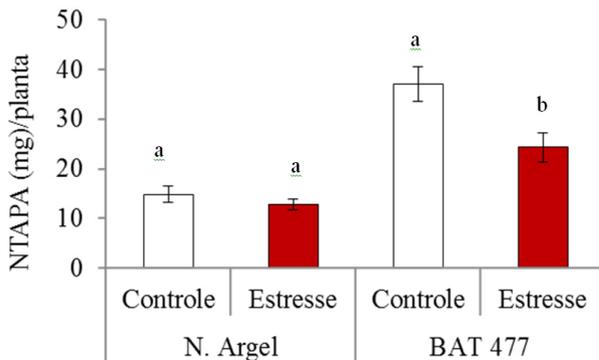


Fig. 3. N total acumulado na parte aérea (NTAPA) para as cultivares Negro Argel e BAT 477 dez 10 dias após o término do déficit hídrico de 4 dias. Letras diferentes indicam que os tratamentos diferiram estatisticamente pelo teste F a 5% de probabilidade. Barras de erro padrão das médias para 5 repetições são mostradas para cada cultivar/tratamento.

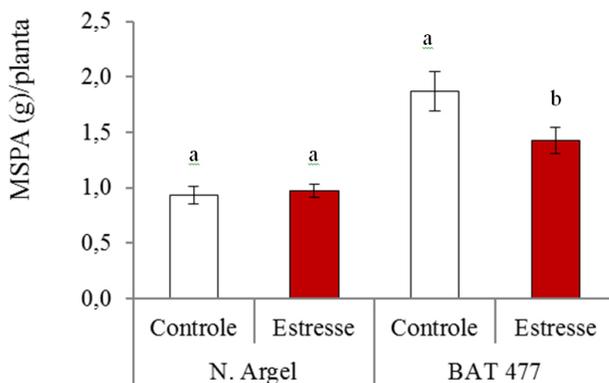


Fig. 4. Massa seca da parte aérea (MSPA) das cultivares Negro Argel e BAT 477 aos dez dias após a recuperação do déficit hídrico de 4 dias. Letras diferentes indicam que os tratamentos diferiram estatisticamente pelo teste F a 5% de probabilidade. Barras de erro padrão das médias para 5 repetições são mostradas para cada cultivar/tratamento.

considerada tolerante à seca em condições de campo com fornecimento de N mineral (SPONCHIADO et al., 1989); contudo, nossos resultados mostraram que esse comportamento não foi verificado sob condições de casa de vegetação quando dependente da FBN (Tab. 1). A tolerância observada em BAT477 em condição de campo é decorrente da grande capacidade de penetração no solo do sistema radicular e, conseqüentemente da maior facilidade de encontrar água em camadas mais profundas (SPONCHIADO et al., 1989). Certamente em casa de vegetação esse mecanismo é limitado em função das condições de cultivo como, por exemplo, o volume limitado do substrato a ser explorado pelo sistema radicular. Além disso, em função da complexidade metabólica do processo de FBN, possivelmente, é necessária à atuação de outros mecanismos de tolerância, os quais requerem a indução de genes específicos (CLEMENT et al., 2008; SILVA et al., 2012).

Conclusões

Há variabilidade genética para capacidade de FBN em condições de déficit hídrico entre as cultivares de feijão avaliadas.

As cultivares BAT 477, Carioca, Ouro Negro, Safira, M. Fosco e Constanza mostram baixa capacidade de manter a atividade de FBN após o déficit hídrico.

As cultivares N. Argel, Jalo EEP558, Xamego, Aporé e Diamante Negro, são menos afetadas pelo déficit hídrico, mantendo a capacidade de FBN após a exposição ao estresse hídrico.

Referências Bibliográficas

AIDAR, H.; KLUTHCOUSKI, J. Realidade versus sustentabilidade na produção do feijoeiro comum. In: (Ed.) KLUTHCOUSKI, J.; STONE, L.F.; AIDAR, H. **Fundamentos para uma agricultura sustentável, com ênfase na cultura do feijoeiro**. EMBRAPA, Goiás, 2009.

AIDAR, H. (Ed.). **Cultivo do feijoeiro comum**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão; Campinas: Embrapa Informática Agropecuária, 2003. (Embrapa Arroz e Feijão. Sistemas de Produção, 2). Cap. 2: Características da cultura. Disponível em: (<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Feijao/ultivodoFeijoeiro/index.htm>). Acesso em: 7 dez. 2012.

ALCANTARA, R. M. C. M.; ROCHA, M. M. da; XAVIER, G .R.; RUMJANEK, N. G. **Estado atual da arte quanto ao melhoramento de genótipos para a otimização da FBN**. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2009. (Embrapa Meio-Norte. Documentos, 196).

BODDEY, L. H.; BODDEY, R. M; ALVES, B. J. R.; URQUIAGA, S. **A avaliação da fixação biológica de N₂ associada a leguminosas e não-leguminosas utilizando a técnica da redução do acetileno: história, teoria e prática**. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2007. 43 p. (Embrapa Agrobiologia. Documentos, 245). Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/622536/1/doc245.pdf> > . Acesso em: 20 out. 2012.

CHARTZOULAKIS, K.; THERIOS, I.; NOITSAKS, B. The effect of soil water deficit on internal water relations of kiwifruit. **Acta Horticulturae**, v. 1, p. 305-310, 1997. Proceedings of the Third International Symposium on Kiwifruit.

CIAT. Centro Internacional de Agricultura Tropical **Research constraints provisionally identified by CIAT**. In: WORKSHOP ON ADVANCED PHASEOLUS VULGARIS. BEANS RESEARCH NETWORK, 1990, Cali. [trabalhos...] Cali, 1990.

CLEMENT, M.; LAMBERT, A.; HEROUART, D.; BONCOMPAGNI, E. Identification of new up-regulated genes under drought stress in soybean nodules. **Gene**, v. 426, p. 15-22, 2008.

DEVI, M. J.; SINCLAIR, T.R.; BEEBE, S.E.; RAO, I. M. Comparison of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) genotypes for nitrogen fixation tolerance to soil drying. **Plant Soil**, V. 364, p.. 29-37, 2013. 2012. DOI:10.1007/s11104-012-1330-4.

FERREIRA, D. F. Sisvar: um programa para análises e ensino de estatística. **Revista Symposium**, v. 6, p. 36 41, 2008.

FRED, E. B.; WAKSMAN, S. **Yeast extract**: mannitol agar for laboratory manual of general microbiology. New York: McGraw Hill, 1928. p.145

GOORMACHTIG, S.; CAPOEN, JAMES, E. K.; HOLSTERS, M. Switch from intracellular to intracellular invasion during water stress-tolerant legume nodulation. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 101, p. 6303-6308, 2004.

GRAHAM, P .H.; RANALLI, P. Common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). **Field Crop Research**, v. 53, p. 131-146, 1997.

GRAHAM, P. H. Some problems of nodulation and symbiotic nitrogen fixation In *Phaseolus vulgaris* L.: a review. **Field Crops Research**, v. 4, p. 93-112, 1981.

HARDARSON, R. W. F.; BLISS, F. A.; CIGALES-RIVERO, M. R.; HENSON, R. A.; KIPE-NOLT, J. A.; LONGERI, L.; MANRIQUE, A.; PEÑA-CABRIALES, J. J.; PEREIRA, P. A. A.; SANABRIA, C. A.; TSAI, S. M. Genotypic variation in biological nitrogen fixation by common bean. **Plant and Soil**, v.152, p.59-70, 1993.

HUNGRIA, M.; FRANCO, A. A. Effects of high-temperatures on nodulation and N₂ fixation by *Phaseolus vulgaris* L. **Plant and Soil**, v. 149, p. 95-102, 1993.

HUNGRIA, M.; NEVES, M. C. P.; VICTORIA, R. L. Assimilação do nitrogênio pelo feijoeiro: II. absorção e translocação do N mineral e do N₂ fixado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 9, p. 202-209, 1985.

HUNGRIA, M.; STACEY, G. Molecular signals exchanged between host plants and rhizobia: basic aspects and potential application in agriculture. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 29, p. 819-830, 1997.

HUNGRIA, M.; VARGAS, M. A. T.; ARAUJO, R. S. Fixação biológica de nitrogênio em feijoeiro. In: VARGAS, M. A. T.; HUNGRIA, M. Eds. **Biologia dos solos dos cerrados**. Planaltina, Embrapa-CPAC, p.189-294, 1997.

HUNGRIA, M.; CAMPO, R. J.; MENDES, I. C. **A importância do processo de fixação biológica do nitrogênio para a cultura da soja: componente essencial para a competitividade do produto brasileiro**. Londrina: Embrapa Soja, 2007. (Embrapa Soja. Documentos, 283).

KOID, A. R.; ROBICHACRA, R. N.; MORSE, S. R.; SMITH, C. M. Plant water status resistance and capacitance. In: PEAVEY, R.W.; EHLERINNGER, J.; MOONEY, H.A. e RUNDEL (Ed.). **Plant physiological ecology**. London: Springer, 1991.

LSPA. **Levantamento Sistemático da Produção Agrícola**, v. 25, n. 08, p. 1-88, ago, 2012, Agosto. 2012. Disponível em: http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/agropecuaria/lspa/lspa_201208.pdf > . Acesso: dezembro de 2012.

MIRANDA, B. D.; BLISS, F.A. Selection for increased seed nitrogen accumulation in common bean: implications for improving dinitrogen fixation and seed yield. **Plant Breed**, v. 106, p. 301- 311, 1991.

MNASRI, B.; MOHAMED, E. A.; RIDHA, M. Nodulation and growth of common bean (*Phaseolus vulgaris*) under water deficiency. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 39, p.1744-1750, 2007.

NOGUEIRA, A. R. de A.; SOUZA, G. B. de. (Ed.). **Manual de laboratórios: solo, água, nutrição vegetal, nutrição animal e alimentos**. São Carlos, SP: Embrapa Pecuária Sudeste, 2005. 334.

NORRIS, D. O.; T`MANNETJE, L. The symbiotic specialization of African *Thifolium* spp. in relation to their taxonomy and their agronomic use. **East African Agricultural and Forestry Journal**, v. 29, p. 214-235, 1964.

RAMOS, M. L. G.; GORDON, A. J.; MINCHIN, F. R.; SPRENT, J. I.; PARSONS, R. Effect of water stress on nodule physiology and biochemistry of a drought tolerant cultivar of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). **Annals of Botany**, v. 83, p. 57-63, 1999.

RAMOS, M. L. G., PARSONS, R., SPRONT, J. I., JAMES, E. K. Effect of water stress on nitrogen fixation and nodule structure of common bean. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 38, n. 3, p. 339-347, 2003.

RODIÑO, A. P.; FUENTE, M. D. L.; RON, A. M. D.; LEMA, M. J. L.; DREVN, J. J. SANTALLA, M. Variation for nodulation and plant yield of common bean genotypes and environmental effects on the genotype expression. **Plant Soil**, v. 346, p. 349-361, 2011. DOI 10.1007/s11104-011-0823-x.

SAEG **Sistema para Análises Estatísticas**: Versão 9.1. Viçosa: Fundação Arthur Bernardes, 2007.

SALVADOR, C. A. **Feijão**. In: ANÁLISE DA CONJUNTURA AGROPECUÁRIA: safra 2011/12. Curitiba: Secretaria da Agricultura e do Abastecimento do Estado do Paraná, 2012.

SERRAJ, R.; SINCLAIR, T. R. N₂ Fixation response to drought in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). **Annals of Botany**, v. 82, p. 229-234, 1998.

SILVA, H. A. P. da.; GALISA, P. S.; OLIVEIRA, R. S. S.; VIDAL M. S.; SIMÕES-ARAÚJO, J. L. Expressão gênica induzida por estresses abióticos em nódulos de feijão-caupi. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, p. 797-807, 2012.

SILVA, S. C.; RIBEIRO, J. R. Zoneamento agroclimático para o feijão (2ª. safra) nos estados de Goiás, Mato grosso, Mato grosso do Sul, Minas Gerais e Bahia. In: KLUTHCOUSKI, J.; STONE, L. F.; AIDAR, H. (Ed.). **Fundamentos para uma agricultura sustentável, com ênfase na cultura do feijoeiro**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2009. 452 p.

SPONCHIADO, B. N.; WHITE, J. W.; CASTILLO, J. A.; JONES, P. G. Root growth of four common bean cultivars in relation to drought tolerance in environments with contrasting soil types. **Experimental Agriculture**, Cambridge, v. 25, p. 249-257, 1989.

TAJINI, F.; TRABELSI, M.; DREVON, J. J. Comparison between the reference *Rhizobium tropici* CIAT899 and the native *Rhizobium etli* 12a3 for some nitrogen fixation parameters in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) under water stress. **African Journal of Microbiology Research**, v. 6, n. 18, p. 4058-4067, 2012.

Embrapa

Agrobiologia

Ministério da
**Agricultura, Pecuária
e Abastecimento**

G O V E R N O F E D E R A L
BRASIL
PAÍS RICO É PAÍS SEM POBREZA