

Performance de genótipos de feijão para o caráter fixação biológica de nitrogênio conduzidos em sistemas de cultivos em dois ambientes

Juliano Garcia Bertoldo^{1*}, Corália Maria Oliveira Medeiros², Rodrigo Favreto³, Raquel Paz da Silva³, Rafaela Lawisch Braga⁴, Diogo Kacheski Beck⁴, Felipe Eich⁴

Resumo – A utilização de inoculantes representa uma economia para o país, além disso, existe uma tendência agrícola mundial em reduzir o uso de insumos e energia, propiciando uma melhoria na qualidade ambiental. Assim, este trabalho teve como objetivo identificar genótipos promissores quando submetidos a sistemas de cultivos com menor uso de adubação nitrogenada mineral e avaliar os efeitos da interação genótipo x ambiente em caracteres de interesse agrônomo e no sistema de cultivo. Foram avaliados 12 genótipos de feijão em ambientes distintos e dois sistemas de cultivos (com uréia e com inoculação). Para o caráter número de nódulos totais (NNT) os genótipos SM0212, SH057, Pérola, SH0413, SH061, SP12072, e SM1010 podem ser considerados promissores. O sistema de cultivo teve influência do ambiente, este sendo mais pronunciado em Maquiné do que em Santa Rosa. O aumento no ciclo e na estatura de planta promove o incremento no número de nódulos. É possível obter resultados satisfatórios para os caracteres agrônômicos avaliados com a substituição da adubação nitrogenada mineral de cobertura pela inoculação.

Palavras-chave: *Phaseolus vulgaris* L.. Ureia. Inoculação. Redução de insumos.

Performance of beans genotypes too biological nitrogen fixation trait conducted in cropping systems in two environments

Abstract – The use of inoculants represents a cost savings to the country, in addition to this, there is a tendency toward world agriculture to reduce the use of raw materials and energy, providing an improvement in environmental quality. Thus, the objective of this work was to identify promising genotypes when submitted to cropping systems with less use of nitrogen fertilization mineral and assess the effects of genotype x environment interaction in characters of agronomic interest and cultivation system. Were evaluated 12 bean genotypes in different environments and two cropping systems (with urea and with inoculation). For the character number of nodules totals (NNT) genotypes SM0212, SH057, Perola, SH0413, SH061, SP12072, and SM1010 can be considered promising. The system of cultivation had an influence on the environment, this being more pronounced in Maquiné than in Santa Rosa. The increase in cycle and plant stature it promotes an increase in the number of nodules. The increase in cycle and plant stature it promotes an increase in the number of nodules. It is possible to obtain satisfactory results for the agronomic traits evaluated with the replacement of nitrogen fertilization of mineral coverage by inoculation.

Key-words: *Phaseolus vulgaris* L.. Urea. Inoculation. Reduction of inputs.

Introdução

O feijão-comum é uma das espécies de maior cultivo no Brasil, sendo considerado o prato típico brasileiro, consumido habitualmente por grande parte da população brasileira. No Brasil a média anual de produção é de 3,5 milhões de toneladas, sendo o consumo incrementado em 1,2% ao ano até 2020, passando de 3,5 para 4,3 milhões de toneladas (MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, 2012). No entanto, não é autossuficiente na produção e a média nacional de rendimento de grãos é baixa, cerca de 900 kg.ha⁻¹ em média (CONAB, 2014), não refletindo o potencial de

rendimento das atuais variedades recomendadas (>2.000 kg.ha⁻¹), o que faz com que o Brasil não seja autossuficiente na produção do feijão.

Cultivado por pequenos e grandes produtores em todas as regiões, o feijão é considerado uma planta exigente em termos nutricionais, sendo que os níveis adequados dos macronutrientes nas folhas do feijoeiro se encontram na faixa de 24 - 52 g kg⁻¹ para o nitrogênio, 4,0 - 6,0 g kg⁻¹ para o fósforo e 15 - 35 g kg⁻¹ para o potássio (MALAVOLTA, 2006). Considerando a baixa fertilidade da maioria dos solos brasileiros, as práticas de calagem e adubação são indispensáveis para

Manuscrito submetido em 15/04/2014 e aceito para publicação em 02/09/2015

¹Pesquisador, Dr., Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária – FEPAGRO, Centro de Pesquisa do Litoral Norte, FEPAGRO Litoral Norte, RS 484, km 05, CEP 95530-000, Maquiné/ RS. *autor para correspondência: jgbertoldo@fepagro.rs.gov.br.

²Pesquisadora, Dra., Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária – FEPAGRO, Centro de Pesquisa do Noroeste, FEPAGRO Noroeste, Rua Benvindo Giordani, 1749, CEP 98900-000, Santa Rosa/ RS.

³Pesquisadores, Drs., Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária – FEPAGRO, Centro de Pesquisa do Litoral Norte, FEPAGRO Litoral Norte, RS 484, km 05, CEP 95530-000, Maquiné/ RS.

⁴Estagiário(a) FDRH, Fepagro Noroeste – Santa Rosa, Acadêmico(a) de Bacharelado em Agronomia - Sociedade Educacional Três de Maio (SETREM).

fornecer nutrientes que não estão em concentrações satisfatórias para atender às necessidades das plantas (SILVA et al., 2012). Entretanto, tem sido observado um baixo rendimento na cultura do feijão no país, devido principalmente ao baixo nível tecnológico empregado (MERCANTE et al., 1999; STRALIOTTO, TEIXEIRA e MERCANTE, 2002). Os fatores que podem estar contribuindo para essa realidade estão o cultivo em locais de baixa fertilidade dos solos e o baixo uso de insumos nesta cultura (BARBOSA FILHO, FAGERIA e ZIMMERMANN, 2005), a negligência quanto à nutrição mineral da cultura (BINOTTI et al. 2009; BISCARO et al. 2011).

Para uma produção adequada é necessário o uso de fertilização nitrogenada ou a inoculação com bactérias fixadoras de nitrogênio na raiz. A utilização de inoculantes, como alternativa ao uso de adubação nitrogenada, pode representar uma economia anual significativa. Alguns estudos estimam que o uso de inoculação com bactéria fixadora de nitrogênio pode ser responsável por uma economia anual de, aproximadamente, US\$ 9 bilhões, pelo não uso de fertilizantes nitrogenados, em termos brasileiros.

Além disso, outra vantagem é a mitigação dos efeitos danosos que são ocasionados pelo uso desses fertilizantes sobre o meio ambiente. A fixação de nitrogênio tem um papel fundamental na manutenção da produção agrícola mundial (HERRIDGE, TURPIN, e ROBERTSON, 2001) com um menor impacto ambiental, pois incorporação de nitrogênio via fixação biológica, aos diferentes ecossistemas do planeta é bastante elevada, representando uma importante economia de energia fóssil (ALCANTARA et al., 2009) e menor custos de produção (HUNGRIA e VARGAS, 2000). HUNGRIA et al. (2012) identificaram estirpes que se forem utilizadas em maior escala no feijão, segundo os autores, haveria uma economia imediata de US\$ 240 milhões por ano (considerando a área cultivada em três safras, a recomendação atual de 60 kg de N/ha para a cultura e o preço da ureia).

A produtividade de grãos de diferentes genótipos do feijão é condicionada ao efeito do ambiente sobre as plantas (BERTOLDO et al., 2009; FARIA et al., 2009; GONÇALVES et al., 2010). Foi verificado que a variância atribuída ao efeito do ambiente pode contribuir para a variância fenotípica no rendimento de grãos de feijão em 76%, ou seja, o efeito do ambiente é fator determinante para a produtividade (BERTOLDO et al., 2009). Nesse sentido, é importante o desenvolvimento de novos genótipos adaptados aos diferentes níveis tecnológicos de cultivo e ambientes procurando também uma redução no uso de insumos e energia, buscando a sustentabilidade produtiva.

Assim, este trabalho teve como objetivo identificar genótipos promissores para caracteres de interesse agrônomo, entre eles a fixação biológica de nitrogênio, quando submetidos a sistemas de cultivos em dois ambientes.

Material e Métodos

Foram instalados dois experimentos a campo no ano de 2012, sendo um na área experimental da Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária (FEPAGRO) no

Centro de Pesquisa do Litoral Norte (FEPAGRO Litoral Norte), em Maquiné/RS, situada a 29°39'33.10" de latitude Sul, 50°12'35.80" de longitude Oeste e 15 m de altitude e outro no Centro de Pesquisa da Região Noroeste (FEPAGRO Noroeste), em Santa Rosa/RS, situado a 27°53'18.11" de latitude sul, 54°28'41.23 de longitude Oeste e 243m de altitude, que foram denominados Ambientes 1 e 2, respectivamente. A semeadura ocorreu em setembro de 2012 em ambos ambientes. O solo em Maquiné (Ambiente 1) é classificado como Chernossolo Háplico Órtico típico e o clima é clima subtropical úmido-Cfa. O solo em Santa Rosa (Ambiente 2) é classificado como latossolo vermelho distroférico típico e o clima característico é subtropical mesotérmico-Cfa, segundo a classificação de Köppen. Os dados climáticos de temperatura e precipitação nos dois ambientes durante o cultivo estão representados pela Figura 1.

O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso com três repetições. As parcelas foram constituídas por quatro linhas de 4 metros espaçadas em 0,5 m, totalizando 8 m² e para a área útil foram consideradas as duas fileiras centrais, totalizando 4 m². A densidade de semeadura foi de 15 sementes aptas por metro linear. Utilizou-se o sistema de semeadura direta ou convencional, utilizando-se como adubação de base a dose de 275kg ha⁻¹ de fertilizante mineral NPK da fórmula 5-20-20. Os dois sistemas de cultivo corresponderam a fonte de N na cobertura: i) convencional, com o uso de ureia (30 kg N ha⁻¹) aos 18 dias após a emergência (URÉIA) e; ii) com inoculação a campo na linha de semeadura de 10g/10L H₂O da mistura de três inoculantes recomendados para o feijão (SEMIA 4077, SEMIA 4080 e SEMIA 4088 na proporção 1:1:1 em uma concentração final de 1 x 10⁸ células.mL⁻¹) após a emergência das plantas (INOCULANTE). Foram utilizados 12 genótipos de feijão, sendo quatro cultivares comerciais (Fepagro26, Iraí, Ouro Branco e Pérola) e oito linhagens (SH0413, SH057, SH061, SP12072, SM0212, SM0707, SM1010 e SM1207) pertencentes à coleção de feijão do Banco de Germoplasma da FEPAGRO (BAFFE). Os tratamentos culturais consistiram do controle de plantas invasoras através de capina manual e aplicação de Fluazifop-p-butyl+fomesafen (1Lha⁻¹) e o controle de insetos pela aplicação de Metamidophos (1Lha⁻¹) e não houve controle de doenças.

No estágio R6 (floração plena), a partir de cinco plantas coletadas aleatoriamente na parcela, foram avaliados os caracteres número de nódulos total (NNT), peso seco da parte aérea em g (PSA), comprimento da raiz em cm (CPR), e no estágio R9 (maturação da colheita), os caracteres estatura de planta em cm (EST), diâmetro do caule em cm (DIA), número de legumes por planta (NLP), número de grãos por legume (NGL), e número de grãos totais (NGT), e os caracteres fenológicos número de dias para a floração (DIF) e ciclo de planta (CIC). Para a avaliações feitas no estágio R6 foi realizado arranquio de cinco plantas da área útil por parcela, iniciando-se com um leve revolvimento do solo com uma pá a cerca de 30cm de distância das plantas, seguido da retirada das plantas. O solo aderido às raízes foi removido com uso de água corrente e, em seguida, as raízes foram separadas da parte aérea na base do caule.

Os nódulos presentes nas raízes foram destacados e contados. A parte aérea e raiz foram colocadas para secar em estufa a 65 °C por 72 horas e após este período, foram pesadas com auxílio de balança analítica de precisão.

Os dados foram submetidos à análise de variância pelo teste F e ao teste de Tukey para comparação de

médias, ambos ao nível de probabilidade de erro de 5%. A análise conjunta incluiu todos os ambientes avaliados. Foram estimados os coeficientes de correlação de Pearson entre os caracteres avaliados. As análises foram realizadas com auxílio do programa computacional GENES (CRUZ, 2013).

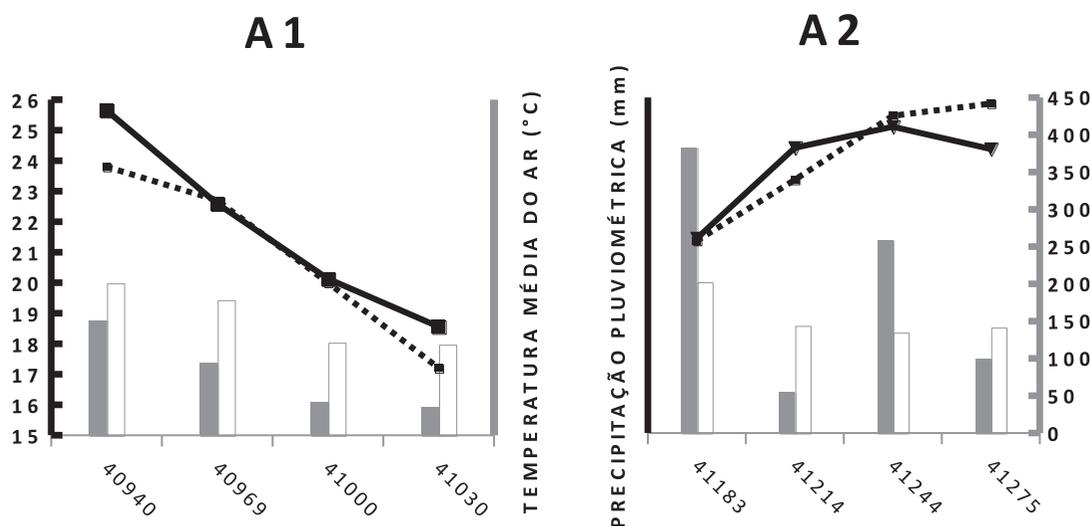


Figura 1 – Dados ambientais em Maquiné (A1) e Santa Rosa (A2) de temperatura média do ar (°C) durante o cultivo (linhas sólidas) e dados esperados com base em série histórica de 1976-2005 (linhas pontilhadas) e de precipitação pluviométrica (mm) observada durante o cultivo (barras sólidas) e dados esperados com base em série histórica de 1976-2005 (barras pontilhadas) no período de cultivo do feijão. Série histórica baseada em MATZENAUER, RADIN, e ALMEIDA (2011).

Resultados e discussão

A partir da análise de variância conjunta (Teste F ao nível de 5% de probabilidade de erro) foi possível observar que houve efeito significativo para todos os fatores avaliados, porém de diferente magnitude (Tabela 1).

Assim, pode ser dito que houve diferenças entre genótipo e ambiente para todos os caracteres avaliados (exceto para os caracteres DIA e NGL); o sistema de cultivo foi significativo apenas para os caracteres peso seco da parte aérea (PSA), número de legumes por planta (NLP) e número de grãos total (NGT) e; as demais interações não foram significativas (Tabela 1). Os resultados são pertinentes, pois indicam que existe variabilidade entre os genótipos e entre os ambientes utilizados, bem como que houve resposta diferenciada

entre os genótipos dentro do ambiente ao qual foram avaliados.

Ainda podem ser observados valores do coeficiente de variação (CV) altos para o caráter número de nódulos (Tabela 1), a partir do proposto por Pimentel-Gomes e Garcia (2002). Para Cruz et al. (2012), não há um consenso entre os pesquisadores sobre o uso do CV como medida da precisão experimental. No entanto, a classificação de CV de Pimentel-Gomes (1985), apesar de ser extensivamente utilizada, é abrangente e não considera as particularidades da cultura avaliada, a natureza do ensaio e, principalmente a variável estudada, o que podem ser relevantes para a correta interpretação das magnitudes dessa medida (GARCIA, 1989).

Tabela 1 – Resumo da análise de variância conjunta dos dados de número de nódulos total (NNT), peso seco da parte aérea (PSA em gramas), comprimento da raiz (CPR em centímetros), dias para o florescimento (DIF), ciclo de planta (CIC), estatura de planta (EST em centímetros), diâmetro do caule (DIA em milímetros), número de legumes por planta (NLP), número de grãos por legume (NGL) e número de grãos totais (NGT) em genótipos de feijão cultivados em dois ambientes

FV	GL	Quadrado médio ¹				
		NNT	PSA	CPR	DIF	CIC
Bloco	2	2910,09*	13,54*	0,73	2,49	11,93
Genótipos (G)	11	3582,56*	28,56*	162,80*	257,28*	314,52*
Sistema (S)	1	94,50	20,69*	1,04	2,17	0,33
Ambiente (A)	1	34802,12*	1479,48*	7128,60*	1,37	1429,92*
GxS	11	869,97	2,02	11,02	6,17	10,64
GxA	11	3565,33*	12,37*	184,49*	39,93*	117,82*
SxA	1	180,60	0,23	0,18	3,81	0,13
GxSxA	11	1164,11	2,32	13,98	4,97	9,24
Erro	88	691,54	3,70	14,67	4,27	5,73
Média		27,60	13,13	26,45	42,47	95,23
CV (%)		95,79	28,38	14,50	5,00	2,54
		EST	DIA	NLP	NGL	NGT
Bloco	2	246,29*	0,71	21,07	0,85	402,12
Genótipos (G)	11	152,90*	3,56*	78,16*	4,02*	1890,55*
Sistema (S)	1	48,92	2,10	110,30*	0,27	1344,19*
Ambiente (A)	1	1617,60*	479,47*	1630,60*	43,08*	6194,48*
GxS	11	51,86	0,46	6,24	0,79	57,72
GxA	11	337,85*	0,93	54,42*	0,63	781,84*
SxA	1	27,82	2,50	11,40	1,63	1430,39*
GxSxA	11	71,00	0,66	12,49	0,18	134,56
Erro	88	50,51	0,78	10,88	0,42	185,86
Média		32,84	6,95	11,11	3,45	108,13
CV (%)		21,64	12,71	29,35	18,24	35,93

¹* Significativo pelo teste F ($p = 0,05$); CV%: coeficiente de variação

Em relação aos caracteres avaliados no estágio R6, houve diferenciação entre os genótipos e os ambientes (Tabela 2). Para o caráter número de nódulos totais (NNT) o genótipo SM0212 foi o que apresentou o maior valor de número de nódulos em Maquiné (23,5) e o genótipo SH057 em Santa Rosa (113,7). Outros genótipos podem ser considerados promissores para este caráter, Pérola, SH0413, SH061, SP12072, e SM1010,

embora não se diferenciem entre si pelo teste de Tukey (valor $p = 0,05$), apresentaram valores acima da média em pelo menos um dos ambientes em que foram avaliados. Variabilidade entre genótipos para o caráter nodulação já tem sido verificada em outros trabalhos (ANDRIOLO, PEREIRA e HENSON, 1994; FRANCO et al., 2002; VIEIRA et al., 2005).

Tabela 2 – Média dos caracteres número de nódulos total (NNT), peso seco da parte aérea (PSA em gramas), comprimento da raiz (CPR em centímetros) e dias para o florescimento (DIF) observados no estádio R6 e ciclo de planta (CIC), observado no estádio R9, de genótipos de feijão cultivados em dois ambientes

Genótipos	NNT		PSA		CPR		DIF		CIC	
	A1 ¹	A2	A1	A2	A1	A2	A1	A2	A1	A2
Fepagro 26	3,4b	38,8bc	4,3ab	11,1ab	18,9ab	33,1bcd	45,6ab	43,5e	94,4ab	91,5h
Iraí	7,0ab	11,5c	2,0b	4,0c	20,8a	24,1d	35,3d	26,5i	83,8d	79,5j
Ouro Branco	7,2ab	4,7c	2,9b	8,6ab	20,4ab	22,4cd	35,0d	32,0h	84,0cd	99,0f
Pérola	14,3ab	57,5abc	5,9a	12,1a	21,2a	31,4cd	45,0abc	43,0f	96,0a	102,5c
SH0413	13,6ab	35,3bc	3,3ab	8,5ab	20,4ab	33,1bcd	40,6abcd	44,0d	89,6abcd	102,0d
SH057	9,0ab	113,7a	3,4ab	10,3ab	18,1ab	44,1a	43,0abc	46,0a	94,4ab	104,0b
SH061	10,3ab	86,8ab	3,5ab	12,4a	19,4ab	47,8a	47,0a	45,5b	93,3ab	104,5a
SP12072	80ab	71,3abc	3,0ab	11,7ab	17,8ab	41,6ab	45,8ab	45,0c	92,0abc	101,0e
SM0212	23,5a	22,0bc	2,4b	9,7ab	17,1ab	27,9cd	39,2bcd	42,0g	89,6abcd	87,0j
SM0707	10,8ab	12,2c	2,9ab	7,6bc	18,9ab	27,6cd	38,3cd	43,0f	87,5bcd	92,0g
SM1010	14,3ab	56,2abc	2,9b	12,3a	15,5b	33,9bc	44,0abc	43,0f	88,8abcd	101,0e
SM1207	4,0b	10,3c	3,3ab	11,7ab	17,1ab	27,7cd	40,2bcd	42,0g	92,0abc	101,0e
Média	10,42	43,05	3,31	9,95	18,88	33,32	41	43	90	97

*Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey (p =0,05).

¹Ambientes: A1: Maquiné; A2: Santa Rosa

Para o caráter peso da parte aérea (PSA), o genótipo Peróla foi considerado o melhor em Maquiné (5,9g) e em Santa Rosa (12,1g). Em Santa Rosa, também houve superioridade para os genótipos SH061 (12,4) e SM1010 (12,3g). Os maiores valores para o caráter comprimento da raiz foram obtidos no genótipo Pérola e Iraí em Maquiné (21,2 e 20,8cm, respectivamente) e SH057 e SH061 em Santa Rosa, com 44,1cm e 47,8cm, respectivamente. Os dias para o florescimento (DIF) variou de 35 (Ouro Branco) a 47 dias (SH061) em Maquiné e de 26,5 (Iraí) a 46 dias (SH057) em Santa Rosa. O ciclo de planta (CIC) em Maquiné variou de 83,8 (Iraí) a 96 dias (Pérola) e em Santa Rosa de 87 (SM0212) a 104,5 dias (SH061). Os resultados revelaram haver variações entre os genótipos e entre os ambientes de cultivo. Em Maquiné foram necessários em média 41 dias para o florescimento e em Santa Rosa 43 dias, não havendo muitas diferenças entre os ambientes para esse caráter, corroborando com a não significância obtida na análise de variância (Tabela 1). Porém de modo geral, os genótipos apresentaram ciclo de cultivo superior em Santa Rosa (mais tardios) em comparação a Maquiné (mais precoces), sendo o ciclo médio de cultivo foi de 90 dias em Maquiné e 97 dias Santa Rosa, diferindo em 7 dias entre um ambiente e o outro.

Nas condições específicas do ano, pode ser concluído que houve superioridade no ambiente de Santa Rosa em comparação ao ambiente de Maquiné para todos os caracteres, com exceção do número de legumes por planta. As diferenças em nodulação e desenvolvimento

da planta podem ser decorrentes das diferentes condições edafoclimáticas dos dois ambientes de cultivo. Entretanto, as condições climáticas observadas durante a condução dos ensaios (Figura 1) indicam que durante a condução do ensaio em Maquiné (Ambiente 1), houve menor ocorrência de chuvas, o que promoveu estiagem durante o ciclo de cultivo, reduzindo os valores dos caracteres avaliados. De modo contrário, em Santa Rosa (Ambiente 2), a disponibilidade hídrica pode ter contribuído para prolongar o ciclo médio dos genótipos, visto que foi observada nítida tendência de maior duração de ciclo de cultivo. As médias para os demais caracteres em Maquiné foram inferiores àquelas de Santa Rosa, de modo que, o estresse hídrico pode ter afetado o desenvolvimento das plantas. O estresse hídrico pode promover decréscimo da produção da área foliar, fechamento dos estômatos, aceleração da senescência e da abscisão das folhas e aumento na senescência das flores (WRIGHT, SMITH, e McWILLIAM, 1983; McCREE e FERNÁNDEZ, 1989; TAIZ e ZEIGER, 1991). Os trabalhos de Westgate e Boyer (1985) demonstraram que a ocorrência de déficit hídrico durante a fase de enchimento de grãos altera todo o desenvolvimento da planta.

Os caracteres avaliados no estádio R9 (maturação para colheita) também apresentaram divergências entre os genótipos e os ambientes estudados (Tabela 3). Para o caráter estatura de planta (EST em centímetro) foram observados valores superiores nos genótipos SH413 (44,3 cm) e Ouro Branco (47,3cm) em Maquiné e Santa

Rosa, respectivamente e inferiores para os genótipos Iraí (20,2 cm) em Maquiné e SP12072 (28,2 cm) e SH057 (29,6 cm) e SP12072 (28,2 cm) em Santa Rosa. Porém os genótipos Pérola, SM0707 e SM1010, apesar de não diferirem estatisticamente, apresentaram valores pertinentes no incremento da estatura em ambos ambientes. O diâmetro de caule (DIA em milímetros) e o número de legumes por planta (NLP) não apresentaram nenhuma diferença entre os genótipos em Maquiné, porém os genótipos foram distintos em Santa Rosa, onde o genótipo SM1207 (10 mm) foi superior para o DIA e os

genótipos Fepagro 26, SM0707 e SM1010 (20, 20,2 e 20,1 respectivamente) para o caráter NLP. Para o caráter número de grãos por legume (NGL), houve diferenças dentro dos ambientes, sendo superiores os genótipos Fepagro 26 (5,2) em Maquiné e SM1207 (5,0) em ambos ambientes. No caráter número de grãos totais (NGT) não foram observadas diferenças entre os genótipos em Maquiné, entretanto, em Santa Rosa, o genótipo Fepagro 26 (71,8) apresentou o maior valor e os genótipos Ouro Branco, Iraí e SH061 apresentaram os menores (16,6, 19,9 e 25,2, respectivamente) (Tabela 3).

Tabela 3 – Média dos caracteres estatura de planta (EST em centímetros), diâmetro do caule (DIA em milímetros), número de legumes por planta (NLP), número de grãos por legume (NGL) e número de grãos totais (NGT) observados no estádio R9, de genótipos de feijão cultivados em dois ambientes

Genótipos	EST		DIA		NLP		NGL		NGT	
	A1 ¹	A2	A1	A2	A1	A2	A1	A2	A1	A2
Fepagro 26	21,9bc	34,6bcd	4,8a	9,1ab	7,8a	19,8a	5,2a	3,5ab	39,5a	71,8a
Iraí	20,2c	38,0bc	4,1a	6,8c	5,2a	12,8abcd	2,7c	1,8d	13,7a	19,9d
Ouro Branco	21,4c	47,3a	5,3a	9,7ab	5,8a	9,8cd	3,2bc	2,2cd	17,6a	16,6d
Pérola	43,7ab	35,8bcd	4,8a	8,8ab	8,4a	11,8bcd	4,6ab	2,5bcd	39,4a	28,8cd
SH0413	44,3a	32,0cd	5,0a	9,0ab	8,2a	8,9d	4,6ab	3,3ab	35,6a	30,3cd
SH057	38,8abc	29,6d	5,5a	8,9ab	9,6a	16,6abc	4,6ab	3,0abc	45,0a	50,4abc
SH061	22,3bc	32,8bcd	4,5a	8,7ab	6,6a	7,6d	4,4ab	3,2abc	30,0a	25,2d
SP12072	28,1abc	28,2d	4,4a	8,3bc	5,0a	12,3bcd	3,6abc	3,3ab	20,0a	41,2bcd
SM0212	24,0abc	40,3ab	5,2a	9,0ab	8,2a	18,3ab	3,8abc	3,0abc	29,8a	56,7ab
SM0707	30,8abc	40,8ab	4,8a	8,3abc	7,2a	20,2a	4,2abc	3,2abc	31,2a	65,7ab
SM1010	29,4abc	39,5abc	5,2a	8,5abc	7,3a	20,1a	4,3abc	3,0abc	29,3a	61,9ab
SM1207	27,6abc	34,5bcd	5,2a	10,0a	7,6a	17,5ab	5,0a	3,8a	36,8a	62,9ab
Média	29,05	36,08	4,88	8,75	7,22	14,79	4,16	3,01	30,56	44,28

*Médias não seguidas pela mesma letra na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey (valor p = 0,05).

¹Ambientes: A1: Maquiné; A2: Santa Rosa.

Com relação ao sistema de cultivo aplicado, foram observadas diferenças significativas entre os caracteres e os ambientes avaliados, porém de modo distinto (Tabela 4). Em Maquiné, foi verificado que o tratamento com o sistema de cultivo não convencional, ou seja, com a utilização de inoculante, promoveu um incremento no número de nódulos. Por outro lado, também em Maquiné, o peso seco da parte aérea, diâmetro do caule, número de legumes por planta e número de grãos total obtiveram valores superiores no sistema convencional, ou seja, com o uso de nitrogênio mineral (uréia). Em Santa Rosa não houve diferença entre a utilização de uréia ou de inoculação como fonte de nitrogênio. Pode ser que as condições climáticas desfavoráveis ao desenvolvimento e produção das plantas, como as

ocorridas em Maquiné, tenha afetado também o mecanismo de simbiose entre os rizóbios e as plantas. Este resultado é importante, pois pode estar indicando que em ambientes desfavoráveis a inoculação é “mais benéfica” do que no melhor ambiente. Deste modo, os agricultores que utilizam “menos insumo” ou “menos tecnologia” poderiam ser os principais beneficiários da tecnologia da inoculação.

Outros estudos comparando o uso de inoculante com a adubação nitrogenada apresentam resultados similares ao observado em Maquiné e Santa Rosa, ou seja, alguns relatam melhor desempenho de desenvolvimento da planta ou produtividade no uso de adubação, enquanto outros descrevem não haver diferença entre os tratamentos. Ferreira et al. (2000), observaram que os

tratamentos que não receberam inoculação, também apresentaram nódulos, indicando a presença de estirpes nativas no solo, as quais foram capazes de suprir as plantas com o N fixado simbioticamente e que nos tratamentos não inoculados, os que receberam adubação nitrogenada, apresentaram menor número de nódulos, confirmando o efeito negativo desta adubação na nodulação. Ainda, Araújo et al. (2007), avaliando diferentes tratamentos com e sem inoculação, não encontraram diferenças significativas entre os tratamentos com inoculação e com o uso de nitrogênio mineral para os caracteres peso seco da parte aérea, número de grãos por legume e número de legumes por planta. Do mesmo modo, Pelegrin et al. (2009), verificaram que não houve diferença significativa entre os tratamentos para nodulação (número e matéria seca de

nódulos) e peso seco da parte aérea, porém o rendimento de grãos foi superior no tratamento com a aplicação de 160 kg.ha⁻¹ de N mineral foi superior.

Os resultados obtidos neste trabalho mostram que a substituição do nitrogênio mineral pela inoculação na semeadura não ocasionou perdas nos caracteres relacionados à produtividade. Mohammadi et al. (2013), verificaram que a inoculação em feijão foi superior aos tratamentos onde não foi utilizado qualquer fertilizante ou somente nitrogênio químico (uréia) para os caracteres número de legumes por planta, número de grãos por legume e produtividade. Para Brito, Muraoka e SILVA (2011), a fixação simbiótica de N₂ em feijão-caupi submetido à inoculação pode substituir totalmente a adubação nitrogenada, inclusive a dose de arranque (semeadura).

Tabela 4 – Média entre dois sistemas de cultivo para os caracteres número de nódulos total (NNT), peso seco da parte aérea (PSA em gramas), comprimento da raiz (CPR em centímetros), dias para o florescimento (DIF) e ciclo de planta (CIC) - estádio R6, estatura de planta (EST em centímetros), diâmetro do caule (DIA em milímetros), número de legumes por planta (NLP), número de grãos por legume (NGL) e número de grãos totais (NGT) - estádio R9, de genótipos de feijão cultivados em dois ambientes

Sistema	NNT		PSA		CPR		DIF		CIC	
	A1 ¹	A2	A1	A2	A1	A2	A1	A2	A1	A2
Convencional (Uréia)	8,2b	43,4a	3,8a	10,3a	18,9a	33,4a	41,8a	41,3a	90,7a	97,2a
Não convencional (Inoculante)	12,7a	42,7a	2,9b	9,6a	18,8a	33,3a	41,0a	41,2a	90,2a	97,0a
Sistema	EST		DIA		NLP		NGL		NGT	
	A1 ¹	A2	A1	A2	A1	A2	A1	A2	A1	A2
Convencional (Uréia)	29,5a	36,2a	5,1a	8,7a	8,3a	15,1a	4,3a	2,9a	36,3a	44,2a
Não convencional (Inoculante)	28,5a	35,9a	4,6b	8,8a	6,1b	14,5a	4,0a	3,1a	24,5b	44,4a

*Médias não seguidas pela mesma letra na mesma coluna diferem entre si pelo teste de Tukey (valor p = 0,05).
1Ambientes: A1: Maquiné; A2: Santa Rosa.

Provavelmente, a resposta do feijoeiro à inoculação com rizóbios depende de vários fatores entre eles, a susceptibilidade do genótipo à inoculação, à dose de fertilizante sendo usada na comparação e as condições ambientais de cultivo. Em ambientes onde as condições ambientais são desfavoráveis durante o cultivo, como ocorrido em Maquiné, a inoculação ou o uso de nitrogênio mineral podem obter resultados distintos e pode afetar a produtividade final. Nesse caso, a criação de cultivares específicas adaptadas aos ambientes similares, pode ser uma alternativa. Com isso, pode-se promover a melhoria das variedades na qualidade da fixação em ambientes desfavoráveis, podendo inclusive beneficiar indiretamente os ambientes favoráveis, uma vez que, essas mesmas variedades podem ser recomendadas para essas regiões. A obtenção de

genótipos adaptados e com maior capacidade de fixação de nitrogênio pode ser demorada, então, em curto espaço de tempo, poderia ser possível que nesses ambientes, seja realizada a inoculação combinada com a aplicação de nitrogênio mineral, reduzindo parcialmente o uso de uréia, ou no futuro, a substituição total. A adubação nitrogenada em cobertura mais inoculação com R. tropici gera produtividade semelhante à fertilização nitrogenada na semeadura e em cobertura (MOURA et al., 2009).

Outro aspecto interessante para auxiliar o incremento na fixação biológica de nitrogênio (FBN) em função do sistema de cultivo utilizado é o entendimento da relação entre os caracteres. Na estimativa da correlação, pode ser verificado que o houve efeitos significativos em grande parte dos caracteres avaliados (Tabela 5).

Tabela 5 – Correlação de Pearson entre os caracteres número de nódulos total (NNT), peso seco da parte aérea (PSA em gramas), comprimento da raiz (CPR em centímetros), dias para o florescimento (DIF) e ciclo de planta (CIC), estatura de planta (EST em centímetros), diâmetro do caule (DIA em milímetros), número de legumes por planta (NLP), número de grãos por legume (NGL) e número de grãos totais (NGT), de genótipos de feijão cultivados em dois ambientes

	NNT	PSA	CPR	DIF	CIC	EST	DIA	NLP	NGL	NGT
NNT	-	0,467*	0,571*	0,358*	0,499*	0,003	0,301*	0,234*	-0,231*	0,391*
PSA		-	0,786*	0,288*	0,627*	0,357*	0,886*	0,595*	-0,535*	0,652*
CPR			-	0,390*	0,666*	0,120	0,662*	0,338*	-0,388*	0,525*
DIF				-	0,657*	-0,100	0,193*	0,246*	0,243*	0,343*
CIC					-	0,057	0,557*	0,226*	-0,071	0,569*
EST						-	0,430*	0,376*	-0,169	0,211*
DIA							-	0,666*	-0,442*	0,634*
NLP								-	-0,249*	0,709*
NGL									-	-
NGT										0,176*

*significativo pelo teste F ao nível de probabilidade de erro de 5%.

Deste modo, destaca-se o caráter número de nódulos que obteve correlação positiva e significativa com a maior parte dos caracteres (exceto o número de grãos por legume). De modo geral, pode ser dito que o incremento no ciclo de planta favorece o aumento no número de nódulos, a biomassa (peso seco da parte aérea), o diâmetro do caule e os caracteres relacionados ao rendimento de grãos. Além da melhoria da nodulação, o incremento em alguns dias no ciclo pode incrementar o rendimento de grãos. Segundo White (1989), na ausência de variações estacionais, que são características de estresses, em particular a seca e as temperaturas baixas, os genótipos de feijão com ciclo tardio rendem substancialmente mais do que os genótipos similares, porém de ciclo precoce.

Conclusões

Para o caráter número de nódulos totais (NNT) os genótipos SM0212, SH057, Pérola, SH0413, SH061, SP12072, e SM1010 podem ser considerados promissores. O sistema de cultivo teve influência do ambiente, este sendo mais pronunciado em Maquiné do que em Santa Rosa. O aumento no ciclo de planta promove o incremento no número de nódulos. É possível obter resultados satisfatórios para os caracteres agrônômicos avaliados com a substituição da adubação nitrogenada mineral de cobertura pela inoculação.

Agradecimentos

Agradecemos a FAPERGS e a FINEP, pelo apoio financeiro e a Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária (FEPAGRO), na pessoa da Dra. Anelise Beneduzi da Silveira pela colaboração na obtenção dos inoculantes.

Referências

- ALCANTARA, R.M.C.M.; ROCHA, M.M.; XAVIER, G.R.; RUMJANEK, N.G. **Estado atual da arte quanto à seleção e o melhoramento de genótipos para a otimização da FBN**. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2009. 34 p. (Documentos,196)
- ANDRIOLO, J.; PEREIRA, P. A. A.; HENSON, R. A. Variabilidade entre linhas de formas silvestres quanto a características relacionadas com a fixação biológica de N₂. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 29, n. 6, p. 831-837, 1994.
- ARAÚJO, F.F.; CARMONA, F.G.; TIRITAN, C.S.; CRESTE, J.E. Fixação biológica de N₂ no feijoeiro submetido a dosagens de inoculante e tratamento químico na semente comparado à adubação nitrogenada. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 29, n. 4, p. 535-540, 2007.
- BARBOSA FILHO, M. P.; FAGERIA, N. K.; ZIMMERMANN, F. J. P. Atributos de fertilidade do solo e produtividade do feijoeiro e da soja influenciados pela calagem em superfície e incorporada. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 29, p. 507-514, 2005.
- BERTOLDO, J.G.; COIMBRA, J.L.M.; GUIDOLIN, A.F.; NODARI, R.O.; ELIAS, H.T.; BARILI, L.D.; VALE, N.M.; ROZZETTO, D.S. Rendimento de grãos em feijão preto: o componente que mais interfere no valor fenotípico é o ambiente. **Ciência Rural**, v. 39, n. 7, p. 1974-182, 2009.
- BINOTTI, F. F. S.; ARF, O.; SÁ, M. E.; BUZZETTI, S.; ALVAREZ, A. C. C.; KAMIMURA, K. M. Fontes, doses e modo de aplicação de nitrogênio em feijoeiro no sistema plantio direto. **Bragantia**, Campinas, v. 68, p. 473-481, 2009.
- BISCARO, G.A.; FREITAS JÚNIOR, N.A.; SORATTO, R.P.; KIKUTI, H. GOULART JÚNIOR, S.A.R.; AGUIRRE, W.M. Nitrogênio em cobertura e molibdênio via foliar no feijoeiro irrigado cultivado em

- solo de cerrado. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 33, p. 665-670, 2011.
- BRITO, M.M.P.; MURAOKA, T.; SILVA, E.C. Contribuição da fixação biológica de nitrogênio, fertilizante nitrogenado e nitrogênio do solo no desenvolvimento de feijão e caupi. **Bragantia**, v. 70, n. 1, p. 206-215, 2011.
- CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. **Indicadores da Agropecuária**. Brasília, ano XXII, n. 4, 2014. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1522&t=2>. Acesso em: 2014.
- CRUZ, C. D. GENES: a software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 35, n. 3, 2013.
- CRUZ, E.A.; MOREIRA, G.R.; PAULA, M.O.; OLIVEIRA, A.C.M. Coeficiente de variação como medida de precisão em experimentos com tomate em ambiente protegido. **Enciclopédia biosfera, Centro Científico Conhecer**, v. 8, p. 220-233, 2012.
- FARIA, A. P.; MODA-CIRINO, V.; BURATTO, J.S.; SILVA, C.F.B.; DESTRO, D. Interação genótipo x ambiente na produtividade de grãos de linhagens e cultivares de feijão. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 31, n. 4, p. 579-585, 2009.
- GARCIA, C. H. **Tabelas para classificação do coeficiente de variação**. Piracicaba: IPEF, 1989. 12 p. (Circular Técnica, 171).
- GONÇALVES, J.G.R.; CHIORATO, A.F.; MORAIS, L.K.; PERINA, E.F.; FARIAS, F.L.; CARBONELL, S.A.M. Estudo da estabilidade fenotípica de feijoeiro com grãos especiais. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 34, n. 4, p. 922-931, 2010.
- FERREIRA, A.N.; ARF, O.; CARVALHO, M.A.C.; ARAÚJO, R.S.; SÁ, M.E.; BUZZETTI, S. Estirpes de *Rhizobium tropici* na inoculação do feijoeiro. **Scientia Agricola**, v. 57, p. 507-512, 2000.
- FRANCO, M.C.; CASSINI, S.T.A.; OLIVEIRA, V.R.; VIEIRA, C.; TSAI, S.M. Nodulação em cultivares de feijão dos conjuntos gênicos andino e meso-americano. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, n. 8, p. 1145-1150, 2002.
- HERRIDGE, D. F.; TURPIN, J. E.; ROBERTSON, M. J. Improving nitrogen fixation of crop legumes through breeding and agronomic management: analysis with simulation modelling. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, v. 41, n. 3, p. 391-401, 2001.
- HUNGRIA, M.; CAMPO, R.J.; NOGUEIRA, M.A. A pesquisa em fixação biológica do nitrogênio na Embrapa Soja: passado, presente e perspectivas futuras. In: RELARE, 16., Londrina, 2012. **Anais...** Londrina: Embrapa Soja, 2012.
- HUNGRIA, M.; VARGAS, M.A.T. Environmental factors affecting N₂ fixation in grain legumes in the tropics with an emphasis on Brazil. **Field Crops Research**, v. 65, p. 151-164, 2000.
- MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo, 2006. 638 p.
- McCREE, K.J.; FERNÁNDEZ, C.J. Simulation model for studying physiological water stress responses of whole plants. **Crop Science**, v. 29, p. 353-360, 1989.
- MATZENAUER, R.; RADIN, B.; ALMEIDA, I.R. (Eds.). **Atlas Climático do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Fepagro, 2011.
- MERCANTE, F. M.; TEIXEIRA, M.G.; ABOUD, A.C.S.; FRANCO, A.A. Avanços biotecnológicos na cultura do feijoeiro sob condições simbióticas. **Revista Universidade Rural: Série Ciência da Vida**, v. 21, n.1/2, p. 127-146, 1999.
- MAPA – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Perfil do feijão no Brasil**. Disponível em: . Acesso em: 2012.
- MOHAMMADI, M.; SAFIKHANI, S.; ESMAEILI, A.; CHAICHI, M.R.; DASHTAKI, M. Effects of seed inoculation by *Rhizobium* strains on yield and yield components in common bean cultivars (*Phaseolus vulgaris* L.). **International Journal of Biosciences**, v. 3, n. 3, p. 134-141, 2013.
- MOURA, J.B.; GUARESCHI, R.F.; CORREIA, A.N.; GAZOLLA, P.R.; CABRAL, J.S.R. Produtividade do feijoeiro submetido à adubação nitrogenada e inoculação com *Rhizobium Tropici*. **Global Science and Technology**, v. 02, n. 03, p. 66-71, 2009.
- PELEGRIN, R.; MERCANTE, F.M.; OTSUBO, I.M.N, OTSUBO, A.A. Resposta da cultura do feijoeiro à adubação nitrogenada e à inoculação com rizóbio. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, n. 33, p. 219-226, 2009.
- PIMENTEL GOMES, F. Curso de Estatística Experimental. São Paulo: Nobel, 1985. 467 p.
- PIMENTEL-GOMES, F.; GARCIA, C.H. **Estatística aplicada a experimentos agrônômicos e florestais: exposição com exemplos e orientações pra uso de aplicativos**. Piracicaba: FEALQ, 2002. 309 p.
- SILVA, A.; ALMEIDA, J.A.; SCHMITT, C.; AMARANTE, C.V.T. Fertilidade do solo e desenvolvimento de feijão comum em resposta adubação com pó de basalto. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 7, n. 4, p. 548-554, 2012.
- STRALIOTTO, R.; TEIXEIRA, M.G.; MERCANTE, F.M. Fixação biológica de nitrogênio. In: AIDAR, H.; KLUTHCOUSKI, J.; STONE, L.F (Eds.). **Produção de feijoeiro comum em várzeas tropicais**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2002. p.122-153.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Plant Physiology**, Redwood City, 1991.
- VIEIRA, N. M. B.; ANDRADE, J.B.; MOREIRA, F.M.S.; SILVA, V.M.P.; CARVALHO, A. J. Comportamento dos genótipos de feijoeiro em relação à adubação com nitrogênio mineral e inoculação com rizóbio. **Agropecuária Catarinense**, v. 18, n. 1, p. 57-61, 2005.

WESTGATE, M.E.; BOYER, J.S. Carbohidrate reserves and reproductive development at low leaf water potenciales in maize. **Crop Science**, v. 25, p. 762-769, 1985.

WHITE, J.W. Aspectos fisiológicos de la precocidade em el fríjon común. In: BEEBE, S. (Ed.). **Temas actuales en mejoramiento genético del frijón común**. Cali: CIAT, 1989. 465 p. Programa de Frijol, n. 47.

WRIGHT, G.C.; SMITH, R.G.; McWILLIAM, J.R. Differences between two grain sorghum genotypes in adaptation to drought stress. I. Crop growth rate and yield response. **Australian Journal of Agricultural Research**, v. 34, p. 615-626, 1983.