

Avaliação de genótipos de feijoeiro quanto à eficiência do uso do fósforo em Latossolo Vermelho Eutrófico

Evaluation of common bean genotypes for phosphorus use efficiency in Eutrophic Oxisol

Daiana Alves da Silva*, Jose Antonio de Fatima Esteves, João Guilherme Ribeiro Gonçalves, Cleber Vinícius Giaretta Azevedo, Tamires Ribeiro, Alisson Fernando Chiorato, Sérgio Augusto Morais Carbonell
Instituto Agrônomo - Centro de Grãos e Fibras - Campinas (SP), Brasil.

RESUMO: O feijoeiro comum é uma das leguminosas mais importantes na América Latina, sendo, na maioria das vezes, cultivado em solos com pouca disponibilidade de fósforo (P). Desta forma, este trabalho teve como objetivo avaliar as respostas de 20 genótipos de feijoeiro frente à deficiência de P. O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado em esquema fatorial 2×20 , sendo o primeiro fator constituído pelas doses de P e o segundo fator, por 20 genótipos de feijão, com seis repetições. Como substrato, utilizou-se um Latossolo Vermelho Eutrófico, com baixo teor de P. Para aplicação dos tratamentos com doses de P, utilizou-se superfosfato simples, constando de duas doses: restritiva e controle, com a aplicação, respectivamente, de 45 e 90 kg-ha⁻¹ de P₂O₅. Aos 28 dias, foi possível observar os primeiros sintomas de deficiência do nutriente, com a diminuição do índice relativo de clorofila no tratamento com a dose restritiva. Além disso, foi possível verificar que os tratamentos foram efetivos para diferenciar tanto os efeitos de doses quanto os efeitos de genótipos para a maioria das variáveis avaliadas quanto à parte aérea, ao sistema radicular e aos componentes de produção. Foi possível classificar os genótipos quanto à eficiência de uso e responsividade à aplicação do P de acordo com seus desempenhos produtivos médios. Sete genótipos destacaram-se apresentando desempenhos superiores à média em ambas as doses de P, sendo estes classificados como Eficientes e Responsivos: G 2333, IAC Carioca Tybatã, IAPAR 81, IAC Imperador, IAC Formoso, BRS Esplendor e IPR Tangará, sendo que os quatro primeiros genótipos também foram classificados como Eficientes e Responsivos em condições de hidroponia.

Palavras-chave: *Phaseolus vulgaris*, estresse abiótico, nutrição de plantas, classificação de genótipos.

ABSTRACT: Common bean is one of the most important legumes in Latin America, mostly grown in soils with low phosphorus (P) availability. Thus, this study aimed to evaluate the responses of 20 bean genotypes to P deficiency. The experiment was a completely randomized design in a 2×20 factorial arrangement; the first factor consisted of P levels and the second factor, of 20 bean genotypes, with six replications. The substrate was a Red Eutrophic Oxisol with low P content. For application of the P treatments, it was applied simple superphosphate, consisting of two levels: restrictive and control, with the application of 45 and 90 kg-ha⁻¹ of P₂O₅, respectively. At 28 days, we observed the first symptoms of nutrient deficiency, with the decrease in the relative chlorophyll index in the restrictive level treatment. In addition, the treatments were effective in differentiating effects of both factors levels of P and genotypes for most traits evaluated relative to shoot, root and grain yield. It was possible to classify the genotypes in relation to use efficiency and responsiveness to P application, according to their average yield performances. Seven genotypes presented better performances for both P levels, being classified as Efficient and Responsive: G 2333, IAC Carioca Tybatã, IAPAR 81, IAC Imperador, IAC Formoso, BRS Esplendor and IPR Tangará; the first four genotypes were also classified as Efficient and Responsive under hydroponic conditions.

Key words: *Phaseolus vulgaris*, abiotic stress, plant nutrition, genotype classification.

*Autor correspondente: daiagrouel2002@hotmail.com

Recebido: 24 Mar. 2015 – Aceito: 19 Nov. 2015

INTRODUÇÃO

O feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.) é a leguminosa alimentícia mais importante na América Latina, onde é extensivamente cultivada por pequenos agricultores, muitas vezes em solos deficientes. Assim, a baixa fertilidade dos solos tropicais é a principal causa entre a baixa produtividade da cultura em relação ao seu potencial produtivo, sendo a pouca disponibilidade do fósforo (P) o fator mais limitante quanto ao desenvolvimento da cultura (Beebe et al. 2012).

O P desempenha um papel fundamental na nutrição de plantas, como um elemento essencial, participando de vários processos fisiológicos e bioquímicos que ocorrem em todos os organismos vivos. A maioria das plantas cultivadas contém entre 0,2 e 0,5% de P em sua matéria seca, sendo que, na agricultura intensiva, o nutriente pode ser aplicado com o uso de fertilizantes fosfatados inorgânicos e orgânicos. Nesse contexto, a adubação fosfatada é utilizada extensivamente a fim de minimizar o risco da deficiência de P no solo e, conseqüentemente, aumentar o rendimento das culturas, melhorando a segurança alimentar (Kirkby e Johnston 2008).

De acordo com Santos (2008), o P no solo é constituído por compostos derivados, principalmente do ácido ortofosfórico, e a dinâmica do elemento está associada a fatores ambientais que controlam a atividade dos microrganismos, os quais podem imobilizar ou liberar íons ortofosfato. Assim, em solos jovens e nos moderadamente intemperizados, o P encontra-se em sua maior parte na forma orgânica (Po), ou na forma mineral (Pi), adsorvida fracamente aos minerais secundários. Nos solos altamente intemperizados, como os Latossolos, predominam as formas inorgânicas ligadas à fração mineral com alta energia e as formas orgânicas, estabilizadas física e quimicamente.

Grande parte dos solos brasileiros são intemperizados e apresentam óxidos de ferro e alumínio como principais constituintes da fração argila. Em condições de reação ácida, os óxidos de ferro e alumínio apresentam-se preferencialmente com cargas positivas, sendo, assim, capazes de reter predominantemente os íons fosfatos (Valladares et al. 2003). Assim, pelo fato de esse nutriente apresentar-se adsorvido ao solo, em formas pouco disponíveis aos vegetais, a eficiência de uso dos fertilizantes fosfatados é reduzida, sendo utilizado pelas culturas aproximadamente de 10 a 20% do nutriente aplicado (Santos et al. 2011).

Segundo Schröder et al. (2011), os fertilizantes fosfatados minerais, intensivamente utilizados na produção de

alimentos nos últimos 50 anos, são processados a partir das reservas fósseis; no entanto, devido a ineficiências na cadeia de produção e consumo de alimentos, apenas um quinto desse P atinge os alimentos consumidos pela população global. Frente ao aumento populacional mundial dos próximos 40 anos e à taxa de esgotamento de reservas para a produção de fertilizantes fosfatados, previstas para 50 – 150 anos, é necessário que haja o uso eficiente do recurso.

Beebe et al. (2012) afirmam que os atuais esforços quanto ao aumento da eficiência de aquisição e utilização de nutrientes em baixa fertilidade natural dos solos certamente contribuirão também para melhorar a eficiência do uso de fertilizantes, de maneira sustentável. Os autores reforçam a importância da recuperação do P aplicado, antes de ser irreversivelmente fixado por óxidos de ferro e de alumínio nos solos tropicais com alta capacidade de fixação, o que implica num sistema radicular eficiente que acesse agressivamente os nutrientes do solo.

Diante do exposto, o presente trabalho teve como objetivo avaliar as respostas morfofisiológicas e produtivas de 20 genótipos de feijoeiro, previamente classificados em hidroponia, cultivados em Latossolo Vermelho Eutrófico de média fertilidade e baixo teor de P, com aplicação de duas doses de P, e classificá-los quanto à eficiência de uso do nutriente.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa de vegetação no Instituto Agrônomo (IAC; Fazenda Santa Elisa, Campinas, SP) no período referente aos meses de maio a setembro de 2014. Foram avaliados 20 genótipos de feijoeiro, previamente classificados em hidroponia quanto à eficiência no uso do P (Silva et al. 2014) (Tabela 1).

Foram utilizados vasos com volume de 5 dm³, contendo como substrato uma mistura de um Latossolo Vermelho Eutrófico e areia, na proporção respectiva de 3:1. De acordo com a análise química e granulométrica (Tabela 2), o solo é considerado argiloso, com fertilidade média, contendo teor de 3 mg·dm⁻³ de P, considerado muito baixo (van Raij et al. 1997).

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado em esquema fatorial 2 × 20, sendo o primeiro fator constituído pelas duas doses de fósforo e o segundo fator, constituído pelos 20 genótipos de feijão, com seis repetições. Os 20 genótipos foram pré-geminados e transplantados para

os vasos, distribuídos aleatoriamente na casa de vegetação, sendo que três repetições foram coletadas no florescimento (estádio R6), para avaliações biométricas, e as outras três, conduzidas até a produção de grãos.

Foram aplicados em cada vaso 500 mg de N, na forma de ureia (correspondendo a 90 kg·ha⁻¹ de N), e os dois tratamentos com fósforo aplicados na forma de superfosfato simples, constando de: Parcela P_A (dose restritiva): 45 kg·ha⁻¹ de P₂O₅ e Parcela P_B (dose controle): 90 kg·ha⁻¹ de P₂O₅. Dessa forma, na Parcela P_A, foram aplicados 625 mg e, na Parcela P_B, 1.250 mg de superfosfato simples por vaso. A dose aplicada na Parcela P_A é restritiva por corresponder à metade da dose da Parcela P_B, denominada controle, recomendada para aplicação nas condições da fertilidade do solo (van Raij et al. 1997). Com a aplicação do superfosfato simples, foram adicionados conjuntamente nos vasos da Parcela P_A 40 kg·ha⁻¹ de Ca, correspondendo a 100 mg por vaso, e 20 kg·ha⁻¹ de S, correspondendo a 50 mg por vaso. Na Parcela P_B, adicionaram-se 80 kg·ha⁻¹ de Ca, correspondendo a 200 mg por vaso, e 40 kg·ha⁻¹ de S, correspondendo a 100 mg por vaso.

Aos 28 dias após o transplântio (DAT), foi realizada a avaliação do índice relativo de clorofila (IRC) na folha cotiledonar, utilizando-se o método não destrutivo (SPAD-502Plus – Konica Minolta).

No estádio R6, foram realizadas as coletas de plantas para a avaliação dos caracteres biométricos: altura de planta (AP) em cm; número de nós por planta (NNP); área foliar (AF) em cm²; massa seca de folhas (MSF) e ramos (MSRM) em g; para os caracteres do sistema radicular: área superficial (ASR) em cm²; comprimento total (CR) em cm; volume total (VR) em cm³; diâmetro médio (DR) em mm; e massa seca de raiz (MSR) em g.

Para a determinação da área foliar total, foi utilizado um integrador de área, Modelo LI-3100C – LI-COR. Para obtenção da massa seca de folhas, ramos e raízes, as amostras foram secas em estufa com circulação de ar e temperatura de 60 °C. As raízes foram avaliadas com a utilização do software WinRHIZO® (Regent Instruments Inc., Quebec, Canada).

Na maturação fisiológica, foram avaliados os componentes de produção: número de vagens por planta (NV); número de sementes por planta (NS); número de sementes por vagem (NSV); massa de cem sementes (MCS) em g e produtividade de grãos (PG) em g por planta.

Para determinar os teores dos macronutrientes, foram coletadas todas as folhas da planta, secas em estufa e, posteriormente, moídas em moinho tipo Wiley. Amostras de 1,0 g das folhas moídas foram submetidas à digestão nítrico-perclórica para extração de P, K, Ca, Mg e S. Nos extratos, os teores desses nutrientes foram determinados por

Tabela 1. Genótipos utilizados no estudo quanto à eficiência de uso do fósforo.

Genótipos	Tegumento	Genótipos	Tegumento
1 - IAC Alvorada	Carioca	11 - BRS Pontal	Carioca
2 - IAC Carioca Tybatã	Carioca	12 - BRS Estilo	Carioca
3 - IAC Diplomata	Preto	13 - Pérola	Carioca
4 - IAC Formoso	Carioca	14 - IPR Tangará	Carioca
5 - IAC Imperador	Carioca	15 - Diamante negro	Preto
6 - IPR Uirapuru	Preto	16 - Jalo precoce	Amarelo
7 - BAT 477	Creme	17 - G 4000	Marrom
8 - SEA 5	Creme	18 - DOR 364	Vermelho
9 - Carioca comum	Carioca	19 - G 2333	Vermelho
10 - IAPAR 81	Carioca	20 - BRS Esplendor	Preto

Tabela 2. Características químicas e granulométricas do Latossolo Vermelho Eutrófico utilizado na mistura com areia (3 : 1) para o enchimento dos vasos.

pH (CaCl ₂)	MO (g·dm ⁻³)	P _{resina} (mg·dm ⁻³)	H + Al (mmol _c ·dm ⁻³)	K (mmol _c ·dm ⁻³)	Ca (mmol _c ·dm ⁻³)	Mg (mmol _c ·dm ⁻³)	SB (mmol _c ·dm ⁻³)	CTC (%)	V
5,9	14	3	14	2,2	29	8	39,3	53,3	74
Argila (g·kg ⁻¹)		Silte (g·kg ⁻¹)		Areia total (g·kg ⁻¹)			Textura		
550,0		91,0		359,0			Argiloso		

MO = Matéria orgânica; SB = Soma de bases (K + Ca + Mg); CTC = Capacidade de troca catiônica; V = Saturação por bases.

espectrofotometria de absorção atômica. Para determinação do N total, amostras de 0,2 g das folhas moídas foram submetidas à digestão sulfúrica. O N total foi determinado por destilação e os outros elementos, por espectrometria UV-VIS (Malavolta et al. 1989).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Aos 28 DAT, foi possível observar o início da abscisão foliar nas plantas que receberam a dose restritiva. Foram observadas diferenças estatísticas para o índice relativo de clorofila a 1% de probabilidade, tanto para o fator dose de P como para o fator genótipos (Tabela 3).

A aplicação da dose restritiva de P resultou num decréscimo de 12,85% do IRC, sendo as médias de 31,0 e 35,88 unidades SPAD, respectivamente, para a dose restritiva e controle. Dos 20 genótipos testados, quatro apresentaram os maiores valores médios, sendo G 2333, BRS Esplendor, G 4000 e IAC Imperador (Tabela 4). A deficiência de P produz mudanças na coloração das folhas devido às alterações no conteúdo de clorofila e carotenoides e, segundo Torres Netto et al. (2005), a determinação indireta do teor de clorofila pode ser usada como ferramenta para diagnosticar a integridade do aparelho fotossintético, quando as plantas estão sujeitas às adversidades ambientais.

Hernández-Domíguez et al. (2012) e Oliveira et al. (2012) também observaram a influência da deficiência de P quanto ao IRC; no entanto, observaram aumento do IRC com a diminuição da dose de P, avaliando as folhas mais novas da planta. Graham et al. (2006) identificaram em análise em sílico genes superexpressos que codificam para proteína de ligação clorofila A e B em condições de deficiência de P, sendo essa observação consistente com as frequentes observações

Tabela 3. Resumo da análise de variância quanto ao índice relativo de clorofila de 20 genótipos de feijoeiro em função das doses de 45 e 90 kg·ha⁻¹ de P₂O₅.

Fontes de variação	GL	IRC
Doses de P	1	1.027,9**
Genótipos	19	113,3**
P x Genótipos	19	39,5
Erro	200	33,7
CV (%)	19,19	
Média	30,28	

**Significativo pelo teste F a 1% de probabilidade; GL = Graus de liberdade; IRC = Índice relativo de clorofila; CV = Coeficiente de variação.

sintomáticas de coloração verde-escura da folha. Os autores salientam que folhas novas são geradas continuamente à custa das folhas mais velhas, e essas folhas recém-formadas são importantes na formação do aparelho de captura de luz.

Foram realizadas as análises de variância individuais para os caracteres de parte aérea, do sistema radicular, para os componentes de produção e produtividade. Foi possível detectar efeito significativo da dose de P para todos os caracteres, exceto para as características DR e NSV. Quanto aos genótipos, verificou-se efeito significativo para MSF, MSRM, AP, NNP, VR, DR, NV, NS, NSV e MCS. Para a interação Dose de P × Genótipos, não foi observado efeito significativo para nenhuma característica avaliada. Os coeficientes de variação experimental foram considerados satisfatórios, variando de 7,95 a 22,21% (Tabela 5).

Tabela 4. Desempenho médio de 20 genótipos de feijoeiro comum quanto ao índice relativo de clorofila nas folhas cotiledonares 28 dias após o transplante, submetidos à aplicação de duas doses de P, dose restritiva e controle, com, respectivamente, 45 e 90 kg·ha⁻¹ de P₂O₅.

Genótipos	Média	
1 - IAC Alvorada	26,22	bcd
2 - IAC Carioca Tybatã	30,77	abcd
3 - IAC Diplomata	24,67	cd
4 - IAC Formoso	30,68	abcd
5 - IAC Imperador	34,16	ab
6 - IPR Uirapuru	28,11	abcd
7 - BAT 477	27,02	abcd
8 - SEA 5	31,59	abcd
9 - Carioca Comum	30,08	abcd
10 - IAPAR 81	31,93	abcd
11 - BRS Pontal	29,45	abcd
12 - BRS Estilo	24,50	d
13 - Pérola	31,88	abcd
14 - IPR Tangará	29,71	abcd
15 - Diamante Negro	30,68	abcd
16 - Jalo Precoce	28,20	abcd
17 - G 4000	34,31	ab
18 - DOR 364	33,02	abc
19 - G 2333	34,85	a
20 - BRS Esplendor	33,44	ab
Parcelas	Média	
Dose restritiva	28,19	B
Dose controle	32,36	A

*Valores médios seguidos por diferentes letras minúsculas diferem entre si para genótipos e valores médios com diferentes letras maiúsculas diferem entre si para dose de P pelo teste de Tukey (p < 0,05).

Em relação à AF, foi observada uma redução de 20,30% com a redução da dose de P, ou seja, os tratamentos com dose restritiva e controle apresentaram respectivamente uma área foliar média de 1.019,22 e 1.278,3 cm², não sendo detectada diferença significativa entre os genótipos (Tabela 6).

Houve redução de 33,68% na produção de MSF com aplicação da dose restritiva em relação à dose controle. As médias dos tratamentos foram de 1,91 e 2,88 g, respectivamente, para a dose restritiva e para a dose controle. O genótipo G 2333 destacou-se na produção de MSF, apresentando uma produção de 4,73g; no entanto, não diferiu estatisticamente dos genótipos IAC Carioca Tybatã, IAC Diplomata, BAT 477, Pérola e BRS Esplendor (Tabela 6).

A produção de MSRM foi influenciada tanto pela dose de P quanto pelos genótipos. A parcela que recebeu a dose restritiva apresentou média de 1,49 g, enquanto a parcela

com a dose controle apresentou uma média de 1,73 g, ou seja, houve uma redução de 13,87% com a diminuição da dose aplicada. Os genótipos que apresentaram o melhor desempenho para a produção de massa seca de ramos foram G 2333, Pérola e Jalo Precoce, apresentando médias, respectivamente, de 2,04; 1,91 e 1,9 g (Tabela 6).

A característica AP foi influenciada tanto pela dose de P como pelos genótipos. A dose restritiva ocasionou uma redução de 16,39% na altura das plantas, sendo que as médias das parcelas foram de 91,93 e 76,86 cm, respectivamente, para as parcelas com dose controle e dose restritiva. O genótipo que apresentou a maior altura de plantas foi o G 2333, com hábito de crescimento indeterminado, apresentando média de 239,83 cm, seguido dos genótipos: Pérola, IAC Imperador, BRS Pontal e IAC Carioca Tybatã, com médias respectivamente de: 166,16; 126,66; 108,66 e 104,66 cm.

→

Tabela 5. Resumo da análise de variância quanto às características de parte aérea, sistema radicular, componentes de produção e produtividade de 20 genótipos de feijoeiro cultivados em função da aplicação de duas doses de P, dose restritiva e controle, com, respectivamente, 45 e 90 kg·ha⁻¹ de P₂O₅.

FV	Quadrado médio					
	GL	AF ^t	MSF ^t	MSRM ^t	AP ^t	NNP
Doses de P	1	529,6**	1,96**	1,65**	22,44**	20,83**
Genótipos	19	48,5	0,16**	0,17**	32,10**	11,98**
P x Genótipos	19	46,7	0,11	0,05	1,76	1,27
Erro	80	40,9	0,06	0,03	3,00	1,69
CV (%)		19,25	13,95	10,75	19,63	11,34
Média		1148,78	2,39	1,61	84,39	11,46
FV	Quadrado médio					
	GL	CR ^t	ASR ^t	VR ^t	DR	MSR ^t
Doses de P	1	1993,5*	250,50**	2,14**	0,01	0,12**
Genótipos	19	638,7	51,09	0,39*	0,01**	0,01
P x Genótipos	19	247,1	25,53	0,20	0,01	0,01
Erro	80	377,3	32,72	0,21	0,01	0,01
CV (%)		20,55	18,92	15,84	7,95	6,7
Média		9337,94	948,76	7,75	0,33	0,645
FV	Quadrado médio					
	GL	NV ^t	NS ^t	NSV	MCS	PG ^t
Doses de P	1	1,2052**	9,008**	1,8915	114,10*	1,0923**
Genótipos	19	0,2154*	1,485*	1,8379*	106,91**	0,2394
P x Genótipos	19	0,1093	0,338	0,7621	19,44	0,1085
Erro	80	0,1216	0,745	0,8658	17,24	0,1488
CV (%)		16,36	21,94	22,21	15,6	17,63
Média		3,68	15,34	4,18	26,61	3,94

^tDados transformados ($\sqrt{x+1}$); *, **Significativo a 5 e 1% de probabilidade; FV = Fontes de variação; GL = Graus de liberdade; AF = Área foliar; MSF = Massa seca de folhas; MSRM = Massa seca de ramos; AP = Altura de planta; NNP = Número de nós por planta; CV = Coeficiente de variação; CR = Comprimento da raiz; ASR = Área superficial da raiz; VR = Volume da raiz; DR = Diâmetro da raiz; MSR = Massa seca da raiz; NV = Número de vagens por planta; NS = Número de sementes por planta; NSV = Número de sementes por vagem; MCS = Massa de cem sementes; PG = produtividade de grãos.

Os genótipos com as menores médias para altura de plantas foram: IPR Tangará, SEA 5 e DOR 364, respectivamente com: 35,66; 40,00 e 43,83 cm (Tabela 6).

Quanto ao NNP, houve redução de 6,99% com a aplicação da dose restritiva, havendo uma variação no número de nós de 13,5 até 7,5. Os genótipos IAC Imperador, IAC Alvorada, IAC Carioca Tybatã e BRS Estilo apresentaram as maiores médias, superior a 12,5 nós por planta, enquanto que os piores desempenhos para essa característica foram observados para SEA 5, IPR Tangará, BRS Esplendor e Jalo Precoce, com médias inferiores a 10,5 nós (Tabela 6).

Pôde-se observar que a imposição da dose restritiva de P influenciou a redução de todos os caracteres avaliados relacionados à parte aérea. De acordo com White e Hammond (2008), muitas das respostas das plantas à deficiência de P parecem ser iniciadas ou moduladas pela diminuição do transporte do P inorgânico (Pi) para a parte aérea e, conseqüentemente, ocorre a redução do Pi disponível para o metabolismo; assim, na maioria das vezes, essa condição

resulta na redução imediata da taxa de crescimento da parte aérea, antes mesmo que o crescimento da raiz seja afetado. Os autores ainda enfatizam que a redução do elemento a nível celular afeta diretamente a fotossíntese, a glicólise e a respiração. Assim, as modificações no metabolismo de carboidratos são reforçadas pela reprogramação transcricional, resultando na síntese de ácidos orgânicos, amido e acúmulo de sacarose nas folhas das plantas deficientes.

Os teores médios de P no tecido foliar determinados pela análise química foram de 1,49 e 1,24 g·kg⁻¹, respectivamente, para a dose restritiva e dose controle. A menor concentração de P nas folhas que receberam a maior dose de P é explicada pelo maior acúmulo de massa seca de folhas, diluindo, assim, a concentração do elemento no total das folhas produzidas, fato constatado pela maior produção de massa seca de folhas nas parcelas com a dose controle, em relação às parcelas com a dose restritiva (Figura 1). Raposo et al. (2004) observaram, em diferentes grupos de maturação de soja, cultivados em Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico, com médio teor

Tabela 6. Desempenho médio de 20 genótipos de feijoeiro cultivados em função da aplicação de duas doses de P nas parcelas, P_A (dose restritiva) e P_B (dose controle), respectivamente, com 45 e 90 kg·ha⁻¹ de P₂O₅ quanto às características de parte aérea, sistema radicular, componentes de produção e produtividade de grãos.

Genótipo	AF (cm ²)	MSF (g)	MSRM (g)	AP (cm)	NNP	CR (cm)	ASR (cm ²)	VR (cm ³)
1 - IAC Alvorada	1039,00	a 2,19	b 1,67	bcd 86,30	cdef 12,83	ab 8315,05	ab 883,51	ab 7,52
2 - IAC Carioca Tybatã	1107,50	a 2,52	ab 1,62	bcd 105,00	bcde 12,66	ab 10250,12	ab 993,42	ab 7,67
3 - IAC Diplomata	1178,16	a 2,41	ab 1,64	bcd 71,80	cdef 10,66	bc 10772,05	ab 1059,40	ab 8,31
4 - IAC Formoso	1092,83	a 2,32	b 1,57	bcd 65,30	cdef 12,16	abc 10410,78	ab 1078,30	ab 8,92
5 - IAC Imperador	1163,50	a 2,25	b 1,58	bcd 127,00	bc 13,50	a 7774,73	ab 775,63	ab 6,19
6 - IPR Uirapuru	1313,50	a 2,32	b 1,53	cd 60,00	cdef 11,00	abc 11982,85	ab 1113,10	ab 8,29
7 - BAT 477	1701,66	a 2,71	ab 1,59	bcd 93,30	cdef 12,33	ab 12317,05	ab 1345,50	a 11,76
8 - SEA 5	984,66	a 2,34	b 1,49	d 40,00	ef 7,50	d 8271,28	ab 990,91	ab 9,49
9 - Carioca Comum	977,83	a 1,89	b 1,48	d 84,70	cdef 11,66	abc 9409,64	ab 882,44	ab 6,61
10 - IAPAR 81	794,50	a 1,32	b 1,43	d 57,80	def 11,16	abc 8366,44	ab 915,47	ab 7,98
11 - BRS Pontal	1188,00	a 2,20	b 1,56	bcd 109,00	bcd 12,66	ab 8349,94	ab 835,84	ab 6,68
12 - BRS Estilo	1164,33	a 2,01	b 1,60	bcd 54,80	def 12,66	ab 7663,75	ab 855,15	ab 7,62
13 - Pérola	1391,16	a 3,27	ab 1,91	ab 166,00	b 12,50	ab 12199,50	ab 1110,40	ab 8,11
14 - IPR Tangará	931,25	a 1,74	b 1,58	bcd 35,70	f 9,50	cd 8426,45	ab 861,51	ab 7,01
15 - Diamante Negro	1187,33	a 2,22	b 1,50	d 55,50	def 10,50	bc 13565,15	a 1205,00	ab 8,53
16 - Jalo Precoce	1093,33	a 2,35	b 1,90	abc 69,80	cdef 10,33	bc 8982,71	ab 891,42	ab 7,08
17 - G 4000	1150,50	a 2,17	b 1,49	d 54,80	def 11,66	abc 8135,51	ab 912,36	ab 8,17
18 - DOR 364	953,66	a 2,09	b 1,34	d 43,80	def 11,16	abc 5256,52	b 542,07	b 4,50
19 - G 2333	1350,50	a 4,73	a 2,04	a 240,00	a 12,50	ab 7353,85	ab 732,72	ab 5,84
20 - BRS Esplendor	1212,33	a 2,76	ab 1,63	bcd 68,20	cdef 10,33	bc 8955,39	ab 991,12	ab 8,75
P _A	1019,22	B 1,91	B 1,49	B 76,86	B 11,05	B 8655,74	B 869,04	B 7,01
P _B	1278,80	A 2,88	A 1,73	A 91,93	A 11,88	A 10020,1	A 1028,48	A 8,49

Tabela 6. Continuação...

Genótipo	DR (mm)	MSR (g)	NV	NS	NSV	MCS	PG (g)
1 - IAC Alvorada	0,342 abcde	0,609 a	3,83 ab	12,83 ab	3,29 b	33,49 a	4,2 a
2 - IAC Carioca Tybatã	0,311 bcdef	0,676 a	5,33 a	21,16 a	3,98 ab	22,31 de	4,76 a
3 - IAC Diplomata	0,317 bcdef	0,720 a	3,33 ab	14,16 ab	4,52 ab	23,12 cde	3,11 a
4 - IAC Formoso	0,331 abcdef	0,737 a	4,33 ab	18,83 ab	4,51 ab	27,47 abcde	4,92 a
5 - IAC Imperador	0,321 bcdef	0,536 a	4,00 ab	16,83 ab	4,46 ab	29,73 abcd	5,06 a
6 - IPR Uirapuru	0,294 ef	0,735 a	3,16 ab	13,33 ab	3,99 ab	27,6 abcde	3,59 a
7 - BAT 477	0,351 abcd	0,787 a	3,16 ab	15,50 ab	4,73 ab	26,06 abcde	4 a
8 - SEA 5	0,385 a	0,709 a	2,50 ab	10,33 ab	3,9 ab	28,29 abcde	3,07 a
9 - Carioca Comum	0,300 cdef	0,562 a	3,00 ab	12,33 ab	4,37 ab	25,28 abcde	3,12 a
10 - IAPAR 81	0,348 abcde	0,610 a	4,83 ab	19,00 ab	3,68 ab	25,88 abcde	4,69 a
11 - BRS Pontal	0,316 bcdef	0,561 a	4,33 ab	16,66 ab	3,64 ab	24,26 bcde	3,83 a
12 - BRS Estilo	0,357 ab	0,650 a	3,33 ab	11,50 ab	3,48 ab	31,46 abc	3,6 a
13 - Pérola	0,298 def	0,703 a	4,16 ab	15,33 ab	3,83 ab	33,13 ab	5,06 a
14 - IPR Tangará	0,326 bcdef	0,633 a	3,66 ab	15,66 ab	4,28 ab	29,15 abcd	4,52 a
15 - Diamante Negro	0,280 f	0,790 a	2,66 ab	11,41 ab	4,25 ab	20,4 e	2,29 a
16 - Jalo Precoce	0,317 bcdef	0,646 a	2,16 b	7,16 b	3,52 ab	32,8 ab	2,32 a
17 - G 4000	0,355 abc	0,681 a	4,66 ab	20,33 ab	4,36 ab	19,94 e	4,01 a
18 - DOR 364	0,339 abcde	0,394 a	3,33 ab	13,83 ab	4,31 ab	24,84 abcde	3,47 a
19 - G 2333	0,315 bcdef	0,442 a	3,66 ab	19,33 ab	5,48 a	26,8 abcde	5,05 a
20 - BRS Esplendor	0,351 abcd	0,725 a	4,16 ab	21,33 a	5,11 ab	20,19 e	4,19 a
P _A	0,325 A	0,565 B	3,28 B	13,41 B	4,06 A	27,59 A	3,56 B
P _B	0,330 A	0,726 A	4,08 A	17,28 A	4,31 A	25,63 B	4,33 A

*Valores médios seguidos por diferentes letras minúsculas diferem entre si para genótipos e valores médios com diferentes letras maiúsculas diferem entre si para dose de P pelo teste de Tukey ($p < 0,05$); AF = Área foliar; MSF = Massa seca de folhas; MSRM = Massa seca de ramos; AP = Altura de planta; NNP = Número de nós por planta; CR = Comprimento da raiz; ASR = Área superficial da raiz; VR = Volume da raiz; DR = Diâmetro da raiz; MSR = Massa seca da raiz; NV = Número de vagens por planta; NS = Número de sementes por planta; NSV = Número de sementes por vagem; MCS = Massa de cem sementes; PG = produtividade de grãos.

de P, relação negativa entre a concentração de P das folhas e a biomassa produzida, enfatizando o efeito de diluição do nutriente. O conteúdo de P nas folhas foi determinado pelo produto do teor de P foliar e a massa seca de folhas, sendo, respectivamente, de 2,78 e 3,42 g de P, para as parcelas com a dose restritiva e dose controle, ou seja, com redução de 18,71% do conteúdo de P nas parcelas com dose restritiva, confirmando o maior acúmulo do nutriente nas folhas, acompanhada pela maior produção de massa seca.

Com a determinação da diagnose foliar, foi possível verificar que, assim como ocorreu para o P, houve maior acúmulo de N, K, Ca, Mg e S nas parcelas com aplicação da dose restritiva, ocorrendo efeito de diluição dos elementos devido à maior produção de massa seca das plantas da parcela controle. Os teores dos nutrientes apresentaram-se próximos às faixas consideradas adequadas à cultura do feijoeiro, com exceção do P e do S, abaixo da faixa adequada. De forma geral, os resultados observados na diagnose realizada

podem ser atribuídos à utilização do total de folhas de cada planta e não à amostragem das folhas do terço médio como as metodologias de Ambrosano et al. (1997) e Malavolta (2006) (Tabela 7).

Quanto ao crescimento e desenvolvimento do sistema radicular, o CR variou de 8.655,74 a 10.020,18 cm, respectivamente, para as doses restritiva e controle, havendo uma redução de 13,62% no comprimento total com a redução da dose. O genótipo Diamante Negro apresentou maior comprimento médio, com 13.565,15 cm, e o genótipo DOR 364, o menor, com 5.256,52 cm (Tabela 6).

Houve uma redução de 15,50% para ASR na dose restritiva, com média de 869,04 e, para o controle, de 1.028,48 cm². Os valores para ASR variaram de 1.345,50 a 542,07 cm², sendo que os genótipos com melhor e pior desempenho médio foram BAT 477 e DOR 364 (Tabela 6).

O VR apresentou diferenças estatísticas significativas para o tratamento de doses e para genótipos. Houve uma

→

redução de 17,43% no volume com aplicação da dose restritiva, ocorrendo uma variação total de 11,76 a 4,50 cm³, sendo que os genótipos com maior e menor volume médio de raiz foram BAT 477 e DOR 364 (Tabela 6).

A MSR foi a característica do sistema radicular mais prejudicada pela dose restritiva, com 22,18% de redução, e, respectivamente, as médias das parcelas com restrição e controle foram de 0,565 e 0,726 g. A amplitude das observações variou de 0,790 g para o Diamante Negro a 0,394 g para o DOR 364 (Tabela 6).

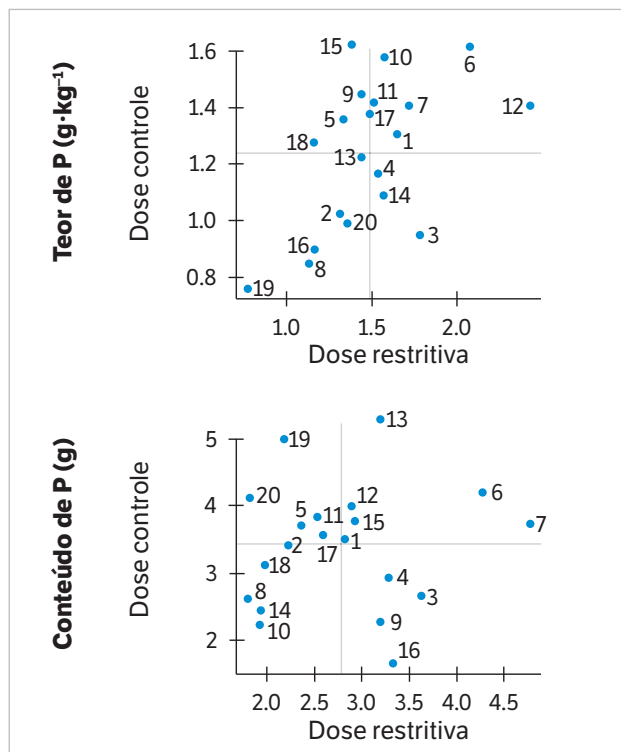


Figura 1. Teor e conteúdo médio de P nas folhas de 20 genótipos de feijoeiro cultivados em Latossolo Vermelho Eutrófico, submetidos às doses restritiva e controle, respectivamente, com aplicação de 45 e 90 kg·ha⁻¹ de P₂O₅. As linhas horizontais e verticais traçadas no gráfico representam as médias gerais de cada tratamento.

Segundo López-Bucio et al. (2003), os nutrientes do solo são elementos críticos para o crescimento das plantas e sua produtividade. A biodisponibilidade de nutrientes na solução do solo pode determinar o crescimento e proliferação das raízes, sendo o P um dos nutrientes que podem alterar os processos de desenvolvimento pós-embrionários do sistema radicular. Além disso, devido à baixa biodisponibilidade e mobilidade de P na maioria dos solos, a capacidade do sistema radicular de explorar eficazmente o solo a um custo metabólico mínimo é essencial para o desenvolvimento da planta (Lynch e Brown 2008).

Trindade e Araújo (2014), avaliando a variabilidade de 24 genótipos de feijoeiro quanto ao sistema radicular em um Argissolo Vermelho-Amarelo, com aplicação de duas doses de P por hectare, 20 e 80 kg de P₂O₅, observaram que a maior dose de P proporcionou maior desenvolvimento do sistema radicular, repercutindo em aumentos na massa de raiz principal, basal e lateral; massa de nódulos; na área e comprimento de raízes, tanto no início da formação como no período de enchimento das vagens. Os autores reforçam a importância da seleção de cultivares com maior crescimento da raiz como uma estratégia para aumentar a absorção de P e produção de grãos, especialmente em ambientes tropicais e subtropicais, onde a disponibilidade de P no solo é geralmente muito baixa.

Em relação aos componentes de produção, houve uma redução de 19,61% no NV, com a aplicação da dose restritiva de P, sendo que a parcela com restrição apresentou valores médios de 3,28 e a parcela controle, de 4,08 vagens por planta. Os genótipos com maior NV foram o IAC Carioca Tybatã, IAPAR 81 e G 4000, enquanto que Jalo Precoce, SEA 5 e Diamante Negro apresentaram os menores números (Tabela 6).

Quanto ao NS, houve diferenças significativas tanto para dose de P como para genótipos. A média observada foi

Tabela 7. Teor de macronutrientes no tecido foliar (g·kg⁻¹) de 20 genótipos de feijoeiro, cultivados em Latossolo Vermelho Eutrófico, com aplicação de duas doses de P nas parcelas P_A (dose restritiva) e P_B (controle), respectivamente, com 45 e 90 kg·ha⁻¹ de P₂O₅.

Tratamento	N	P	K	Ca	Mg	S
	g·kg ⁻¹					
Adequado ¹	30 – 50	2,5 – 4,0	20 – 24	10 – 25	2,5 – 5,0	2 – 3
Adequado ²	52 – 54	4 – 6	15 – 35	15 – 25	4 – 8	5 – 10
P _A	54,27	1,49	23,64	20,61	3,99	1,04
P _B	42,50	1,24	20,06	19,05	3,61	0,79

Faixas de teores de macronutrientes considerados adequados em folhas de feijoeiro coletadas no florescimento; terceiras folhas com pecíolo e tomadas no terço médio de 30 plantas (¹Ambrosano et al. 1997 e ²Malavolta 2006).

de 13,41 e 17,28 sementes por plantas, respectivamente, para as parcelas com restrição de P e controle, havendo redução de 22,40% no número total de sementes por planta com a dose restritiva. Os genótipos com maior número de semente foram BRS Esplendor, IAC Carioca Tybatã e G 4000 (Tabela 6).

A característica NSV não apresentou efeito de dose de P, e as parcelas restritiva e controle apresentaram valores próximos, 4,06 e 4,31 sementes por vagem com redução de 5,80% na dose restritiva. Foi observado efeito do genótipo influenciando a característica, sendo que os genótipos com melhor e pior desempenho médio foram o G 2333 e IAC Alvorada, apresentando, respectivamente, 5,48 e 3,29 sementes por vagem (Tabela 6).

A característica MCS sofreu influência tanto das doses de P como do genótipo; no entanto, ocorreram 7,65% de aumento na massa de sementes na parcela que recebeu a menor dose de P, sendo os valores médios das parcelas com dose restritiva e controle, respectivamente, de 27,59 e 25,63 g. Para essa característica, os genótipos que apresentaram melhor desempenho médio, em ambas as condições de adubação com P, com valores superiores a 32 g, foram: IAC Alvorada, Pérola e Jalo Precoce, e os genótipos com menor massa foram Diamante Negro, IAC Carioca Tybatã e IAC Diplomata (Tabela 6). Avaliando a produtividade e a qualidade de sementes do cultivar Carioca Precoce, submetidos a seis níveis de adubação com P, Zucareli et al. (2011) mostraram que as doses de P aplicadas não influenciaram na massa de cem sementes, tampouco na qualidade fisiológica; no entanto, houve um aumento linear da produtividade em função da dose de P aplicada. Os autores enfatizam que, em situação de deficiência nutricional, as plantas tendem a ajustar a produção de sementes aos recursos disponíveis, sem prejuízo ao vigor.

Para PG, foram observadas diferenças estatísticas apenas para o fator dose de P. As produtividades médias das parcelas com as doses restritiva e controle foram, respectivamente, de 3,56 e 4,33 g por planta, ou seja, a dose restritiva de P resultou em produtividade 17,78% menor. Araújo et al. (2000), avaliando oito genótipos de feijoeiro em solo com baixo teor de P ($5 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ de P), utilizando duas doses, 27,5 e $114,5 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ de P_2O_5 , obtiveram uma produtividade média por planta de, respectivamente, 3,76 e 4,00 g, assim como Oliveira et al. (2012), que, avaliando 19 genótipos em solo com teor de $4,9 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ de P, utilizando doses de 20 e $120 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ de P_2O_5 , também obtiveram baixas produtividades,

2,2 e 5,25 g por planta, respectivamente, para a menor e maior dose de P.

Os resultados para a produtividade média de grãos apresentaram variação média de 5,06 a 2,29 g por planta, sendo que, para ambas as doses, os genótipos com os maiores valores médios foram IAC Imperador (5,06 g), Pérola (5,06 g) e G 2333 (5,05 g) e, com os piores desempenhos, os genótipos Diamante Negro (2,29 g), Jalo Precoce (2,32 g) e SEA 5 (3,07 g) (Tabela 6).

Os genótipos foram classificados e representados graficamente de acordo com seus desempenhos produtivos médios para ambas as doses nas classes: Eficientes e Responsivos; Eficientes e Não Responsivos; Ineficientes e Responsivos; e Ineficientes e Não Responsivos (Figura 2). Foram classificados na categoria Eficientes e Responsivos sete genótipos que apresentaram desempenhos superiores à média, em ambas as doses, sendo eles: IAC Formoso, G 2333, IAC Carioca Tybatã, IAPAR 81, IAC Imperador, BRS Esplendor e IPR Tangará. Silva et al. (2014) observaram, em solução nutritiva, resultados similares, estudando os mesmos genótipos de acordo com a resposta à eficiência no uso do P e classificando cinco genótipos como Eficientes e Responsivos: G 2333, IAC Carioca Tybatã, IAPAR 81, IAC Imperador e Carioca Comum, ou seja, quatro destes apresentando resultados em comum. Deve ser ressaltado que o genótipo BAT 477, classificado como Eficiente e Não Responsivo, além

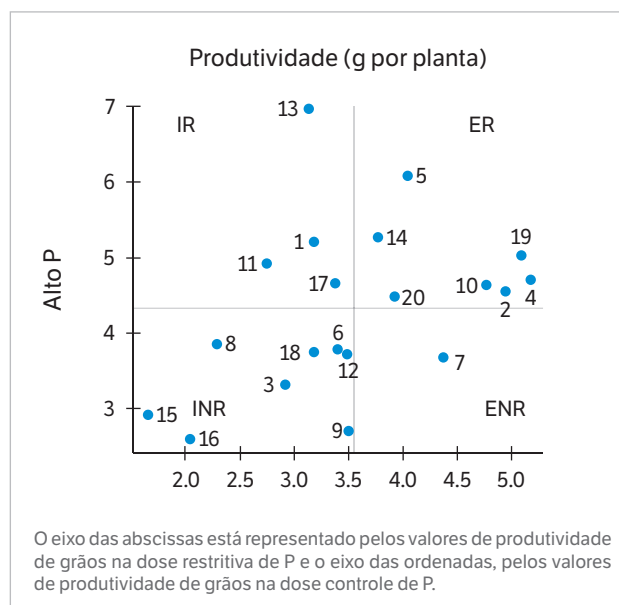


Figura 2. Desempenho produtivo de 20 genótipos de feijoeiro quanto à eficiência no uso do fósforo, classificados em quatro categorias: IR = Ineficientes e Responsivos; INR = Ineficientes e Não Responsivos; ER = Eficientes e Responsivos; ENR = Eficientes e Não Responsivos.

de apresentar um bom desempenho produtivo, nas parcelas com a dose restritiva de P, apresentou melhor desempenho quanto aos caracteres do sistema radicular.

Oliveira et al. (2012) classificaram 19 genótipos de feijoeiro em Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico, com baixo nível de P, adubados com 20 e 120 kg de P_2O_5 , e verificaram variabilidade entre os genótipos, identificando cinco destes como Eficientes e Responsivos: IAC Una, IPR Saracura, IPR Juriti, IAC Centauro e IPR Corujinha.

Pôde-se verificar que, comparando as classificações relativas realizadas no solo e em hidroponia (Silva et al. 2014), 12 genótipos mantiveram a mesma classificação em ambas as condições. Além disso, os genótipos classificados como Eficientes e Responsivos no solo, IAC Carioca Tybatã, IAC Imperador, IAPAR 81 e G 2333, apresentaram respectivamente maior acréscimo percentual em relação à média na condição

restritiva de P: 39,61; 13,20; 33,99 e 42,98%, e, na condição de restrição de P, em hidroponia, acréscimo de: 18,18; 31,02; 42,04 e 1,11% (Tabela 8).

Os genótipos IAC Diplomata, SEA 5, BRS Estilo, Jalo Precoce e DOR 364 foram classificados, em ambas as condições de cultivo, como Ineficientes e Não Responsivos, apresentando reduções na produtividade de grãos em relação às médias de todos os tratamentos, sendo, na condição de restrição em solo, reduções de: -18,26; -35,11; -1,69; -1,85 e -10,39%, assim como, em hidroponia, as reduções foram de: -32,74; -1,20; -2,10; -11,31 e -26,87% (Tabela 8).

Os resultados obtidos na avaliação no solo dos 20 genótipos de feijoeiro foram consistentes e similares com relação à classificação em hidroponia (Silva et al. 2014). Entretanto, verificou-se menor controle experimental nessa situação, uma vez que a dinâmica do P na interação com o solo pode

→

Tabela 8. Produtividade de grãos de 20 genótipos de feijoeiro, cultivados em Latossolo Vermelho Eutrófico, com a aplicação de duas doses, baixo e alto P, respectivamente, com 45 e 90 kg·ha⁻¹ de P_2O_5 e, em hidroponia, com a aplicação de 4 e 8 mg·L⁻¹ de P, com os percentuais produtivos acrescidos em relação às médias, dentro de cada dose e condição de cultivo e classificação relativa quanto ao uso do P.

Genótipos	Latossolo Vermelho Eutrófico			Hidroponia (Silva et al. 2014)		
	Baixo P (%)	Alto P (%)	Classificação relativa	Baixo P (%)	Alto P (%)	Classificação relativa
1 - IAC Alvorada	-10,39	20,39	IR	-5,23	-11,03	IR
2 - IAC Carioca Tybatã	39,61	4,94	ER	18,18	38,32	ER
3 - IAC Diplomata	-18,26	-23,66	INR	-32,74	-69,00	INR
4 - IAC Formoso	45,22	7,93	ER	0,40	0,85	ENR
5 - IAC Imperador	13,20	40,68	ER	31,02	65,36	ER
6 - IPR Uirapuru	-3,93	-13,28	INR	-1,51	-3,17	IR
7 - BAT 477	23,31	-16,51	ENR	-22,77	-47,98	INR
8 - SEA 5	-35,11	-11,44	INR	-1,20	-2,53	INR
9 - Carioca Comum	-0,84	-37,50	INR	22,61	47,65	ER
10 - IAPAR 81	33,99	6,32	ER	42,04	88,59	ER
11 - BRS Pontal	-23,03	13,70	IR	-10,75	-22,65	IR
12 - BRS Estilo	-1,69	-14,44	INR	-2,10	-4,42	INR
13 - Pérola	-11,80	61,21	IR	-14,97	-31,54	IR
14 - IPR Tangará	5,90	22,00	ER	12,76	26,88	ENR
15 - Diamante Negro	-52,81	-32,89	INR	7,18	15,13	ENR
16 - Jalo Precoce	-41,85	-40,27	INR	-11,31	-23,83	INR
17 - G 4000	-5,06	7,47	IR	-10,37	-21,85	INR
18 - DOR 364	-10,39	-13,51	INR	-26,87	-56,62	INR
19 - G 2333	42,98	15,77	ER	1,11	2,34	ER
20 - BRS Esplendor	10,39	3,09	ER	4,55	9,59	ENR
Média	3,56	4,33		28,95	47,45	

IR = Ineficientes e Responsivos; INR = Ineficientes e Não Responsivos; ER = Eficientes e Responsivos; ENR = Eficientes e Não Responsivos.

sofrer diversas influências com relação aos aspectos químicos, físicos e biológicos, como pH, processos de adsorção, textura e teor de argila, microrganismos, entre outros fatores do solo, alterando sua dinâmica e disponibilidade do nutriente para a planta.

CONCLUSÃO

As doses de P foram Eficientes na discriminação dos cultivares, resultando em diferenças significativas no desenvolvimento das plantas e entre os caracteres agrônômicos avaliados.

REFERÊNCIAS

- Ambrosano, E. J., Wutke, E. D., Bulisani, E. A. e Cantarella, H. (1997). Leguminosas e oleaginosas. In B. van Raij, H. Cantarella, J. A. Quaggio e A. M. C. Furlani (Eds.), *Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo*. 2 ed. rev. atual. Campinas: Instituto Agrônômico/Fundação IAC (Boletim Técnico, 100).
- Araújo, A. P., Teixeira, M. G. e Almeida, D. J. (2000). Growth and yield of common bean cultivars at two soil phosphorus levels under biological nitrogen fixation. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 35, 809-817. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2000000400019>.
- Beebe, S., Rao, I. M., Mukankusi, C. e Buruchara, R. (2012). Improving resource use efficiency and reducing risk of common bean production in Africa, Latin America and the Caribbean. In C. Hershey (Ed.), *Issues in tropical agriculture. I. Eco-efficiency: from vision to reality*. Cali: CIAT.
- Graham, M. A., Ramírez, M., Valdés-López, O., Lara, M., Tesfaye, M., Vance, C. P. e Hernandez, G. (2006). Identification of candidate phosphorus stress induced genes in *Phaseolus vulgaris* through clustering analysis across several plant species. *Functional Plant Biology*, 33, 789-797. <http://dx.doi.org/10.1071/FP06101>.
- Hernández-Domínguez, E. E., Valencia-Turcotte, L. G. e Rodríguez-Sotres, R. (2012). Changes in expression of soluble inorganic pyrophosphatases of *Phaseolus vulgaris* under phosphate starvation. *Plant Science*, 187, 39-48. <http://dx.doi.org/10.1016/j.plantsci.2012.01.009>.
- Kirkby, E. A. e Johnston, A. E. (2008). Soil and fertilizer phosphorus in relation to crop nutrition. In P. J. White e J. P. Hammond (Eds.), *The ecophysiology of plant-phosphorus interactions* (p. 177-223). Dordrecht: Springer.
- López-Bucio, J., Cruz-Ramírez, A. e Herrera-Estrella, L. (2003). The role of nutrient availability in regulating root architecture. *Current Opinion in Plant Biology*, 6, 280-287. [http://dx.doi.org/10.1016/S1369-5266\(03\)00035-9](http://dx.doi.org/10.1016/S1369-5266(03)00035-9).
- Lynch, J. P. e Brown, K. M. (2008). Root strategies for phosphorus acquisition low soil p availability is a primary constraint. In P. J. White e J. P. Hammond (Eds.), *The ecophysiology of plant-phosphorus interactions* (p. 83-116). Dordrecht: Springer.
- Malavolta, E., Vitti, G. C. e Oliveira, S. A. (1989). *Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações*. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato.
- Malavolta, E. (2006). *Manual de nutrição mineral de plantas*. São Paulo: Editora Agronômica Ceres.
- Oliveira, T. C., Silva, J., Salgado, F. H. M., Sousa, A. S. e Fidelis, R. R. (2012). Eficiência e resposta à aplicação de fósforo em feijão comum em solos de cerrado. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, 7, 16-24.
- Raposo, R. W. C., Muraoka, T., Basso, L. C., Lavres Junior, J. e Franzini, V. I. (2004). Acid phosphatase activity and leaf phosphorus content in soybean cultivars. *Scientia Agricola*, 61, 439-445. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-90162004000400014>.
- Santos, J. Z. L. (2008). *Adubação fosfatada, frações de fósforo e resposta do feijoeiro, em latossolos de cerrado, com diferentes textura, mineralogia e histórico de uso* (Tese de doutorado). Lavras: Universidade Federal de Lavras.

- Santos, J. Z. L., Furtini Neto, A. E., Resende, A. V., Carneiro, L. F., Curi, N. e Moretti, B. S. (2011). Resposta do feijoeiro à adubação fosfatada em solos de cerrado com diferentes históricos de uso. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 35, 193-202.
- Schröder, J. J., Smit, A. L., Cordell, D. e Rosemarin, A. (2011). Improved phosphorus use efficiency in agriculture: a key requirement for its sustainable use. *Chemosphere*, 84, 822-831. <http://dx.doi.org/10.1016/j.chemosphere.2011.01.065>.
- Silva, D. A., Esteves, J. A. F., Messias, U., Teixeira, A., Ribeiro, J. G. G., Chiorato, A. F. e Carbonell, S. A. M. (2014). Efficiency in the use of phosphorus by common bean genotypes. *Scientia Agricola*, 71, 232-239.
- Torres Netto, A., Campostrini, E., Oliveira, J. G. e Smith, R. E. B. (2005). Photosynthetic pigments, nitrogen, chlorophyll a fluorescence and SPAD-502 readings in coffee leaves. *Scientia Horticulturae*, 104, 199-209.
- Trindade, R. S. e Araújo, A. P. (2014). Variability of root traits in common bean genotypes at different levels of phosphorus supply and ontogenetic stages. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 38, 1170-1180.
- Valladares, G. S., Pereira, M. G. e Anjos, L. H. C. (2003). Adsorção de fósforo em solos de argila de atividade baixa. *Bragantia*, 62, 111-118. <http://dx.doi.org/10.1590/S0006-87052003000100014>.
- van Raij, B., Cantarella, H., Quaggio, J. A. e Furlani, A. M. C. (1997). Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. 2 ed. rev. atual. Campinas: Instituto Agrônomo/Fundação IAC (Boletim Técnico, 100).
- White, P. J. e Hammond, J. P. (2008). Phosphorus nutrition of terrestrial plants. In P. J. White e J. P. Hammond (Eds.), *The ecophysiology of plant-phosphorus interactions* (p. 51-81). Dordrecht: Springer.
- Zucareli, C., Prando, A. M., Ramos Junior, E. U. e Nakagawa, J. (2011). Fósforo na produtividade e qualidade de sementes de feijão Carioca Precoce cultivado no período das águas. *Revista Ciência Agronômica*, 42, 32-38. <http://dx.doi.org/10.1590/S1806-66902011000100005>.