

Uma Abordagem Multivariada do Desempenho de Cultivares de Feijoeiro sob Irrigação e Déficit Hídrico¹

Fátima Bosetti², João Guilherme Ribeiro Gonçalves³, Ueliton Messias⁴, Bianca Aparecida Moraes Baro⁵, Alisson Fernando Chiorato⁶, Sérgio Augusto Morais Carbonell⁷

Resumo

O feijoeiro é sensível às condições de seca, que é um dos principais limitantes para a produtividade da cultura. Uma abordagem multivariada de nove características agrônômicas e fisiológicas foi usada para estudar oito cultivares submetidas a dois tratamentos hídricos: irrigado e déficit hídrico imposto a partir de pré-floração. As características avaliadas em condições de irrigação, em geral não apresentaram correlação significativa com o desempenho em condições de déficit, e pela análise de componentes principais, observou-se que em ambos os tratamentos hídricos, os três primeiros componentes principais responderam por mais de 85% da variância acumulada. No tratamento irrigado, o primeiro componente principal respondeu por mais de 50% da variância total, e as características com maior participação nesse componente foram número de nós por vagem, número de vagens por planta e condutância estomática avaliada entre as 9 e 11 horas. No segundo componente principal, as características com maior peso foram produtividade de grãos, número de sementes por vagem e área foliar. Sob déficit hídrico, as características com maior participação no primeiro componente principal foram produtividade de grãos, número de sementes por vagem e condutância estomática avaliada entre as 9 e 11 horas enquanto que no segundo componente principal as características com maior peso foram massa de mil grãos, número de vagens por planta e área foliar.

Introdução

O feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) é uma das leguminosas mais importantes para o consumo direto na alimentação humana sendo produzido principalmente em pequena escala em países em desenvolvimento da América Latina e da África.

O Brasil destaca-se como um dos maiores produtores mundiais de feijão (Faostat, 2013). No entanto, a produtividade da cultura do feijoeiro é considerada baixa devido a vários fatores como a ausência de calagem e rotação de cultivo na mesma área, adubação e tratamentos fitossanitários inadequados, baixa utilização de sementes sadias, ocorrência de doenças e falta de água nos períodos críticos da cultura (florescimento e enchimento de grão). A ocorrência de déficit hídrico na cultura do feijoeiro não é um problema exclusivo do Brasil. Cerca de 60% da área cultivada com feijão no mundo é afetada pela seca, resultando em reduções de produtividade de 30 a 60% (Thung e Rao, 1999).

Entre os vários estresses abióticos que diminuem a produtividade agrícola, a seca é o mais recalcitrante ao melhoramento (Tuberosa e Salvi, 2006) pelo fato de que as plantas usam vários mecanismos para lidar com o estresse. Há urgência no desenvolvimento de cultivares altamente produtivas e tolerantes à seca que usam água eficientemente, reduzindo a dependência de água da irrigação e custos de produção, e aumentando e estabilizando a produtividade em ambientes propensos a ocorrência de seca (Muñoz-Perea et al., 2006). Para maximizar o impacto da utilização de características específicas, estratégias de melhoramento requerem um conhecimento detalhado do ambiente onde a planta é cultivada, interações genótipo por ambiente e a recomendação de genótipos para ambientes locais. A inclusão de abordagens fisiológicas em programas de melhoramento para tolerância à seca vem sendo aconselhada por vários autores (Mir et al., 2012).

¹ Trabalho desenvolvido pelo Programa de Melhoramento do Feijoeiro do Instituto Agronômico - IAC, Campinas SP.

² Pós doutoranda PNPd CAPES, Centro de Grãos e Fibras, IAC, Campinas SP. E-mail: fatimabosetti@gmail.com

³ Doutorando do Programa de Pós-graduação em Genética, Melhoramento Vegetal e Biotecnologia – IAC, Campinas. E-mail: jrgoncalves@yahoo.com.br

⁴ Pesquisador da Embrapa Meio-Norte, Parnaíba, PI. E-mail: uelitonmessias@yahoo.com.br

⁵ Estagiária do Programa de Melhoramento de Feijoeiro, Centro de Grãos e Fibras, IAC. E-mail: bianca_baro@ig.com.br

⁶ Pesquisador científico, Centro de Grãos e Fibras, Instituto Agronômico – IAC, Campinas SP. E-mail: afchiorato@iac.sp.gov.br

⁷ Pesquisador científico, Centro de Grãos e Fibras, Instituto Agronômico – IAC, Campinas SP. E-mail: carbonel@iac.sp.gov.br

Material e Métodos

Oito cultivares de feijoeiro comum (BAT 477, SEA-5, IAPAR-81, IPR-Uirapuru, IAC Alvorada, IAC Carioca Tybatã, IAC Diplomata e Carioca Comum) foram avaliadas em casa de vegetação localizada no Centro Experimental do Instituto Agrônomo – IAC. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados, com parcelas subdivididas e três repetições. Os tratamentos hídricos constituíram as parcelas enquanto que as cultivares constituindo as subparcelas foram cultivadas em uma linha de 2,50 m de comprimento com 0,5 m de espaçamento entre linhas e 13 plantas por metro linear.

A irrigação foi interrompida na pré-floração no tratamento de déficit hídrico, e foi retomada após 31 dias. Este período foi estipulado em função do potencial matricial do solo (valores próximos a -199 KPa a 0,40 m de profundidade), potencial hídrico foliar (valores próximos a -1,5 MPa avaliados às 5:00 horas), e abscisão e senescência foliar elevadas.

Foram avaliados o número de vagens por planta (NVP), o número de sementes por vagem (NSV), o número de nós por planta (NNP), a altura de planta (AP), a produtividade de grãos (PG) e a massa de mil grãos (MMG). A condutância estomática na face abaxial das folhas entre 9 e 11 horas (gs9-11) e entre as 14 e 16 horas (gs14-16) foi avaliada utilizando um Porômetro - Type AP4 – Delta T Devices e a área foliar total (AF) foi mensurada coletando-se uma planta de cada subparcela em ambos os tratamentos hídricos e analisada pelo integrador de área LI-3100C – LI-COR.

Dados obtidos para as nove características avaliadas nos dois tratamentos hídricos foram submetidos à análise de componentes principais e análise de correlação de Pearson pelo programa Genes.

Resultados e Discussão

Na análise de componentes principais, observou-se que em ambos os tratamentos hídricos, os três primeiros componentes principais responderam por mais de 85% da variância acumulada (Tabela 1), sendo que os dois primeiros componentes principais foram responsáveis por cerca de 75% da variância explicada em ambos os casos. Para as condições irrigadas, o primeiro componente principal respondeu por mais de 50% da variância total, e as características com maiores participações nesse componente foram NVP, NN e gs9-11. No segundo componente principal, que respondeu por 22% da variância total, as características com maior peso foram PG, NSV e AF. Sob déficit hídrico, o primeiro componente principal respondeu por 43,598% da variância, e as características com maior participação nesse componente foram PG, NSV e GS9. No segundo componente principal, que respondeu por 32,757% da variância total, as características com maior peso foram MMG, NVP e AF.

Tabela 1. Análise de componentes principais de nove características agrônômicas e fisiológicas avaliadas sob dois tratamentos hídricos, irrigado e déficit hídrico em oito cultivares de feijoeiro.

Característica	Autovetores - Irrigado			Autovetores – Déficit hídrico		
	CP1	CP2	CP3	CP1	CP2	CP3
PG	0,2524	0,4749	-0,0735	0,3957	0,1832	-0,2761
MMG	-0,3073	-0,1543	-0,5329	0,1605	0,532	-0,0926
NVP	0,4418	0,022	-0,0697	-0,163	-0,4356	-0,3339
NSV	-0,1884	0,5832	0,1787	0,4074	-0,3078	0,0361
NN	0,4272	-0,145	0,2674	-0,3783	-0,2719	0,0363
AP	0,3921	-0,0177	0,3252	-0,3629	-0,0221	0,6298
AF	0,0537	0,6113	-0,2768	0,2161	-0,4882	-0,124
GS9	-0,4213	-0,0148	0,3186	-0,3987	-0,0068	-0,5688
GS14	-0,3074	0,1213	0,5643	-0,3803	0,2935	-0,256
Autovalor	4,700	2,015	1,189	3,923	2,948	1,131
Variância total explicada	52,230	22,396	13,216	43,598	32,757	12,575
Variância acumulada	52,230	74,627	87,843	43,598	76,356	88,931

Em condições de cultivo sob irrigação, a cultivar SEA 5 mostrou-se diferente das demais (Figura 1). Essa cultivar destaca-se de fato pelo menor NVP, NNP e maior gs9-11 entre todas as cultivares (menor valor no CP1), e quando consideradas simultaneamente, essas características, identificou-se essa cultivar como diferente das demais com relação aos escores dos componentes principais. No CP2, a cultivar IAC Diplomata destacou-se com maior escore, originado principalmente pela maior área foliar entre todas as cultivares, e pelo bom desempenho em relação a PG e NSV. Sob déficit hídrico, a cultivar SEA 5 também diferenciou-se das demais cultivares no conjunto das características (Figura 1), com o maior escore para o CP1, resultado pela maior PG e NSV, e pela baixa gs9-11. Com o menor escore para o CP1 sob déficit hídrico encontrou-se o outro padrão do CIAT para tolerância à seca, a cultivar BAT 477, e com escores intermediários aos das cultivares brasileiras. No CP2, SEA 5 também destacou-se, pela maior MMG e entre as cultivares com menor NVP e AF. Em seguida, nesse CP, a cultivar Alvorada, um dos padrões de mercado para tipo de grão.

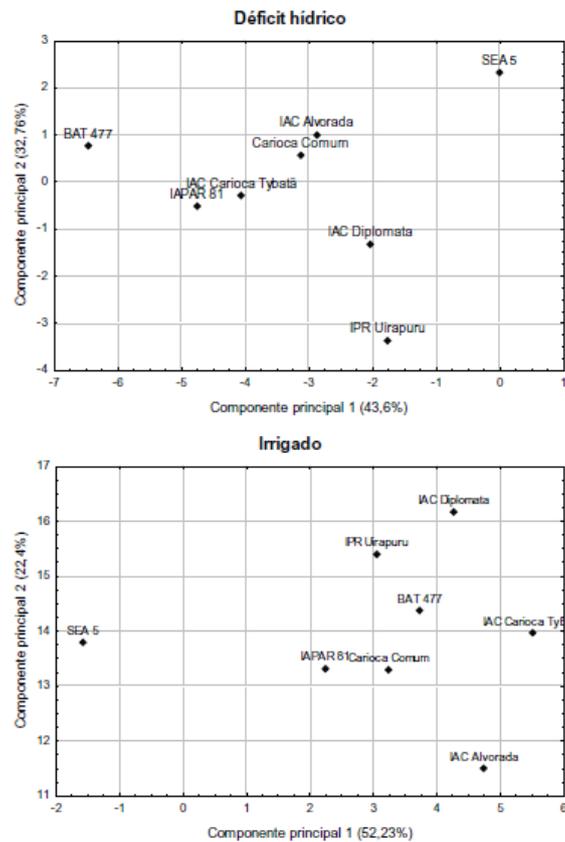


Figura 1. Escores dos dois primeiros componentes principais obtidos para oito cultivares de feijoeiro sob dois tratamentos hídricos: Déficit hídrico por 31 dias a partir da pré-floração e Irrigado.

A análise de correlação de Pearson entre as nove características avaliadas sob os dois tratamentos hídricos permitiu identificar que as características avaliadas em condições de irrigação, em geral não apresentaram correlação significativa com o desempenho em condições de déficit hídrico (Tabela 2). A única exceção foi para MMG, cuja correlação para as avaliações sob déficit e em condições irrigadas foi de 0,73, corroborando com Rezene et al. (2013) que relataram correlação alta e significativa para massa de 100 sementes. Não foi observada correlação significativa da produtividade em condições de irrigação com a produtividade sob déficit hídrico, contrastando com os resultados de Rezene et al. (2013), Ramirez-Vallejo e Kelly (1998) e Terán e Singh (2002), que identificaram correlação positiva entre produtividade sob seca e em condições

favoráveis. Adicionalmente, a MMG sob irrigação foi negativamente correlacionada com NNP e AP sob irrigação e com NNP sob déficit hídrico, indicando que plantas mais altas apresentaram grãos menores do que plantas mais baixas. Assim, a maior MMG em plantas mais baixas contribui para a maior produtividade de grãos dessas plantas sob déficit hídrico, o que também é indicado pela correlação negativa entre PG e AP sob déficit hídrico.

O NVP, um dos componentes de rendimento mais afetado em condições de déficit hídrico (Nuñez Barrios et al., 2005) e contribuindo para o CP1 em condições de irrigação e no CP2 em condições de déficit hídrico, quando avaliado em condições irrigadas é negativamente correlacionado com a produtividade sob déficit hídrico. A falta de correlação entre o NVP sob déficit hídrico e sob irrigação indica que a característica sofreu influência do déficit hídrico. De fato, o estádio reprodutivo é particularmente sensível a seca, levando ao abortamento e abscisão de flores e vagens (Muñoz-Perea et al. 2006), o que explica a falta de correlação para a característica nas duas condições de cultivo. Adicionalmente, plantas com bom desempenho em condições irrigadas, na ocorrência de déficit hídrico têm abortamento de vagens, o que acaba não suportando a produtividade em condições de déficit, gerando essa correlação negativa entre número de vagens por planta sob irrigação e produtividade de grãos sob déficit hídrico.

A correlação negativa da PG sob déficit hídrico com NNP sob irrigação indica que plantas mais baixas em condições de irrigação apresentam maior produtividade quando submetidas ao déficit hídrico do que plantas mais altas. Reforçando essa observação, a PG e a AP sob déficit hídrico são negativamente correlacionadas, indicando que plantas mais baixas são mais produtivas em condições de déficit hídrico. Essa maior produtividade pode ser explicada pelo fato de que, conforme sugestões na literatura, cultivares mais baixas e com menor acúmulo de biomassa podem ter maior capacidade de remobilização de fotoassimilados, e a produtividade em feijoeiro sob condições de déficit hídrico é dependente da capacidade dos genótipos em remobilizar reservas durante o enchimento de grãos (Klaedtke et al., 2012). O NSV, outro componente de produtividade, não foi correlacionado com nenhuma outra característica em condições de irrigação e nem entre características avaliadas nas duas condições. Já em condições de déficit hídrico, o NSV teve correlação positiva com AF e negativa com condutância estomática avaliada entre 14 e 16 hs. Sob déficit hídrico, plantas com maior AF tiveram a tendência de conservar o maior NSV, enquanto que também tiveram maior regulação estomática pela menor condutância estomática apresentada.

Tabela 2. Coeficientes de correlação de Pearson para as características agrônômicas e fisiológicas avaliadas em condições de irrigação e déficit hídrico a partir da pré-floração em oito cultivares de feijoeiro.

	PG _{ir}	MMG _{ir}	NVP _{ir}	NSV _{ir}	NNP _{ir}	AP _{ir}	AF _{ir}	gs9-11 _{ir}	gs14-16 _{ir}	PG _{dh}	MMG _{dh}	NVP _{dh}	NSV _{dh}	NNP _{dh}	AP _{dh}	AF _{dh}	gs9-11 _{dh}	gs14-16 _{dh}
PG _{ir}	1,00	-0,31	0,64	0,25	0,35	0,39	0,56	-0,54	-0,14	-0,25	-0,69	0,62	0,39	0,23	-0,10	0,77*	0,25	-0,13
MMG _{ir}		1,00	-0,55	-0,07	-0,72*	-0,73*	-0,14	0,40	0,20	0,68	0,73*	-0,34	0,31	-0,89**	-0,70	0,03	-0,54	-0,42
NVP _{ir}			1,00	-0,35	0,88**	0,71*	0,06	-0,93**	-0,62	-0,77*	-0,55	0,38	-0,11	0,31	0,57	0,25	0,21	0,12
NSV _{ir}				1,00	-0,47	-0,39	0,56	0,37	0,49	0,41	-0,37	0,08	0,29	0,39	-0,38	0,56	0,06	-0,11
NNP _{ir}					1,00	0,88**	-0,18	-0,76*	-0,45	-0,91**	-0,58	0,40	-0,24	0,48	0,78*	-0,01	0,22	0,13
AP _{ir}						1,00	0,09	-0,60	-0,35	-0,66	-0,66	0,39	0,09	0,43	0,65	0,08	0,11	-0,03
AF _{ir}							1,00	-0,19	-0,19	0,39	-0,43	0,05	0,50	0,16	-0,13	0,57	-0,04	-0,07
gs9-11 _{ir}								1,00	0,80*	0,64	0,41	-0,22	0,12	-0,19	-0,63	-0,17	-0,07	-0,14
gs14-16 _{ir}									1,00	0,30	-0,08	0,30	0,30	0,07	-0,58	0,24	-0,02	-0,43
PG _{dh}										1,00	0,49	-0,51	0,50	-0,57	-0,74*	0,14	-0,44	-0,28
MMG _{dh}											1,00	-0,65	-0,27	-0,74*	-0,34	-0,61	-0,21	0,18
NVP _{dh}												1,00	0,09	0,42	0,03	0,40	0,47	-0,15
NSV _{dh}													1,00	-0,35	-0,51	0,75*	-0,63	-0,84**
NNP _{dh}														1,00	0,57	0,05	0,57	0,36
AP _{dh}															1,00	-0,39	0,17	0,37
AF _{dh}																1,00	-0,26	-0,62
gs9-11 _{dh}																	1,00	0,77*
gs14-16 _{dh}																		1,00

*e**, significativo a 5% e a 1% de probabilidade, respectivamente.

ir e dh identificam o regime hídrico: irrigação e déficit hídrico a partir da pré-floração.

Agradecimentos

À CAPES pela concessão da bolsa PNPd e à FAPESP pelo auxílio à pesquisa

Referências

- Faostat (2013). Countries by Commodities > Beans, Dry. <http://faostat.fao.org/site/339/default.aspx>
- Klaedtke SM et al. (2012) Photosynthate remobilization capacity from drought-adapted common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) lines can improve yield potential of interspecific populations within the secondary gene pool. **Journal of Plant Breeding and Crop Science** 4:49-61.
- Mir RR et al. (2012) Integrated genomics, physiology and breeding approaches for improving drought tolerance in crops. **Theoretical and Applied Genetics** 125:625–645.
- Muñoz-Perea CG et al. (2006) Selection for drought resistance in dry bean landraces and cultivars. **Crop Science** 46:2111-2120.
- Núñez Barrios A et al. (2005) Drought stress and the distribution of vegetative and reproductive traits of a bean cultivar. **Scientia Agricola** 62:18-22.
- Ramírez-Vallejo P and Kelly JD (1998) Traits related to drought resistance in common bean. **Euphytica** 99:127-136.
- Rezene Y et al. (2013) Morpho-physiological Response to Post-flowering Drought Stress in Small Red Seeded Common Bean (*Phaseolus vulgaris* L.) Genotypes. **Journal of Plant Studies** 2:42-53.
- Terán H and Singh SP (2002) Comparison of sources and lines selected for drought resistance in common bean. **Crop Science** 42:64-70.
- Thung M and Rao IM (1999) Integrated management of abiotic stresses. In: Singh SP (ed) **Common bean improvement in the twenty-first century**. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, pp 331–370.
- Tuberosa R and Salvi S (2006) Genomics-based approaches to improve drought tolerance of crops. **Trends Plant Science** 11:405-412.