



Crescimento e trocas gasosas de genótipos de feijão-caupi sob estratégias de cultivo

doi:10.4136/ambi-agua.1880

Received: 07 Mar. 2016; Accepted: 06 Jun. 2016

Aldemir da Silva¹; Marcos Eric Barbosa Brito^{2*}; Luciano Jonatas Gomes Frade²;
Reginaldo Gomes Nobre²; Franciscleudo Bezerra da Costa³;
Alberto Soares de Melo⁴; Luderlândio de Andrade Silva²

¹Universidade Estadual da Paraíba (UEPB), Catolé do Rocha, PB, Brasil
Departamento de Ciências Agrárias e Exatas

²Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Pombal, PB, Brasil
Unidade Acadêmica de Ciências Agrárias (UAGRA),
Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar (CCTA)

³Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Pombal, PB, Brasil
Unidade Acadêmica de Tecnologia de Alimentos (UATA),
Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar (CCTA)

⁴Universidade Estadual da Paraíba (UEPB), Campina Grande, PB, Brasil
Programa de Pós-graduação em Ciências Agrárias (PPGCA)

*Autor correspondente: e-mail: marcoseric@ccta.ufcg.edu.br,
aldemirdasilva@bol.com.br, lcnfrade@gmail.com,
rgomesnobre@yahoo.com.br, franciscleudo@yahoo.com.br,
alberto.melo@pq.cnpq.br, luderlandioandrade@gmail.com

RESUMO

O feijão-caupi tem grande importância econômica, alimentar e social. No Nordeste brasileiro, notadamente nas regiões semiáridas, sua produção é limitada pelo déficit hídrico, sendo necessário identificar genótipos tolerantes atrelados ao uso de tecnologias em seu cultivo. Com isto, objetivou-se avaliar o rendimento de fitomassa e as trocas gasosas de genótipos de feijão-caupi cultivados em diferentes técnicas de conservação de água. O experimento foi realizado em campo, no município de Pombal, na Paraíba, estudando-se quatro técnicas de retenção de água *in situ* (camalhão, sulco, bacia e sistema convencional) e seis genótipos de feijão-caupi (1. Costela de Vaca, 2. BRS Itaim, 3. BRS Guariba, 4. BR-17 Gurguéia, 5. BRS Potengi e 6. BRS Aracé) semeados no espaçamento de 0,5 m x 0,5 m, usando o delineamento experimental de blocos ao acaso, com quatro repetições. Os dados das estimativas do rendimento de fitomassa seca e das trocas gasosas das plantas foram submetidos à análise de variância, ao teste F, seguido de testes de comparação de médias, teste de Tukey. O cultivo em sulcos e em camalhão deram melhor resultados do que o sistema convencional de plantio e em bacia. As variedades BRS - Potengi, BRS - Aracé e BRS - Guariba tiveram melhor crescimento e trocas gasosas das plantas.

Palavras-chave: semiárido, sistemas de produção, *Vigna unguiculata*.

Growth and gas exchange of cowpea bean genotypes under strategies of cultivation

ABSTRACT

The cowpea bean has great economic, nutritive and social importance. In the Northeast, especially in semi-arid regions, cowpea production is limited due to a lack of water, making it necessary to identify tolerant genotypes and cultivation technologies. This study therefore aimed to analyze the dry matter yield and the gas exchange between cowpea genotypes cultivated using different water conservation techniques. The experiment was conducted in the field in the city of Pombal, Paraíba, in order to study four treatments that use different water retention techniques (ridge, groove, basin and conventional system) applying six genotypes of cowpea bean (1. Costela de Vaca, 2. BRS Itaim, 3. BRS Guariba, 4. BR-17 Gurgueia, 5. BRS Potengi e 6. BRS Arace) sowing with 0.5 m x 0.5 m spacing between plants, using the randomized blocks design with four replications. Dry matter yield and gas exchange data were subjected to ANOVA, F test, followed by mean comparison tests, Tukey test. The groove and ridge cultivation techniques had better results than the basin and conventional techniques. The BRS- Potengi, BRS - Aracé e BRS - Guariba genotypes had better growth and gas exchange potential.

Keywords: crop production, semiarid, *Vigna unguiculata*.

1. INTRODUÇÃO

O feijão-caupi é um dos principais alimentos consumidos pela população brasileira. O cultivo ocorreu em aproximadamente 3,0 milhões de hectares, com produção estimada, no ano de 2012, de 2,9 milhões de toneladas (IBGE, 2013). O mesmo é cultivado em todo o Brasil, em especial nas Regiões Norte e Nordeste, o qual favorece a fixação do homem ao campo e intensifica a renda da agricultura familiar.

Nas áreas produtoras de feijão-caupi predominam o sistema convencional de plantio, realizado por meio de aração e gradagem, seguido de semeadura. Tais práticas normalmente não são manejadas adequadamente, o que têm ocasionado problemas na redução da profundidade desejada de aração, na atividade microbiológica (Cunha et al., 2011a; 2011b) e na capacidade de crescimento do sistema radicular das plantas, com consequente redução na produtividade (Freitas et al., 2014).

Este problema é, ainda, mais evidente em solos da região semiárida, caracterizados como jovens, com formação a partir de rochas cristalinas. Além disso, há ocorrência de material de origem aflorado à superfície, o que dificulta a infiltração da água no solo e propicia o escoamento superficial e o processo de erosão (Santos et al., 2014).

Desta forma, o uso de técnicas de preparo do solo e de práticas conservacionistas se tornam necessárias na retenção de água por um maior período, as quais podem ser implantadas por meio mecanizado ou com auxílio de tração animal (Duret et al., 1986; Borges et al., 2014). Assim, a água de chuva tende a se acumular na área de retenção, o que permite melhoria na capacidade de infiltração e a manutenção da umidade edáfica.

Além do uso de técnicas de captação de água, deve-se considerar a necessidade de utilização de genótipos com maior tolerância ao déficit hídrico, a qual é variável entre cultivares e espécies, como registrado em plantas de arroz por Aghaee et al. (2011), de citros, por Brito et al. (2012), de trigo, por Csiszár et al. (2012) e de feijão comum, por Pottorff et al. (2014), ao avaliarem efeitos no crescimento, no comportamento fisiológico, na atividade enzimática e na expressão gênica das plantas pesquisadas. Para esses pesquisadores, o estudo desses parâmetros permite identificar materiais promissores.

A exemplo, Nascimento et al. (2011) classificaram genótipos de feijão-caupi quanto à tolerância ao estresse hídrico por meio de variáveis de trocas gasosas, rendimento de grãos e potencial hídrico em condição de deficiência hídrica. Já Silva et al. (2013) registraram, em condição de estresse salino, que as variáveis de trocas gasosas do feijão-caupi apresentam maior sensibilidade.

Com isso, o uso de materiais genéticos adequados as condições climáticas do semiárido atrelados ao manejo de captação de água *in situ* no sistema de produção podem garantir a sustentabilidade agrícola, haja vista os riscos causados pela irregularidade na distribuição das chuvas em espaço e tempo.

Nesse contexto, objetivou-se, com o presente trabalho, avaliar o rendimento de fitomassa seca e as trocas gasosas de genótipos de feijão-caupi sob estratégias de cultivo no semiárido brasileiro.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado em condições de campo no Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar – CCTA, da Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, localizado no município de Pombal, Paraíba, PB, nas coordenadas geográficas 6°47'20" de latitude S e 37°48'01" de longitude W, a uma altitude de 174 m.

O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados, com tratamentos compostos por um esquema fatorial (6 x 4), relativos a seis genótipos de feijão-caupi e quatro estratégias de cultivo, totalizando 24 tratamentos, os quais foram repetidos em quatro blocos, resultando em 96 parcelas, com parcela composta por nove fileiras de 3,0 m de comprimento.

Os seis genótipos de feijão-caupi foram: 1. Costela de Vaca – com crescimento indeterminado e porte prostrado; 2. BRS Itaim - com crescimento determinado e porte ereto; 3. BRS Guariba - com crescimento indeterminado e porte semiereto; 4. BR-17 Gurguéia - com crescimento indeterminado e porte enramador; (5) BRS Potengi, com crescimento indeterminado e porte semiereto; e (6) BRS Aracé, de crescimento indeterminado e porte semiprostrado; provenientes do programa de melhoramento genético de feijão-caupi da Embrapa Meio Norte, com exceção do genótipo 1 que proveio de sistemas de produção local, sendo cultivados em quatro técnicas (Camalhão - TC; Sulco - TS; Bacia – TB; e cultivo convencional - testemunha).

O preparo do solo foi realizado por meio de uma aração e uma gradagem simples; a partir daí foram estabelecidos os tratamentos referentes às técnicas de retenção de água. O camalhão e o sulco foram preparados de forma alternada, levantando-se uma leiva de 30 cm de altura para o camalhão e se usando parte do solo retirado do sulco, que pode ser caracterizado por uma depressão; a bacia foi feita com a construção de diques de solo em uma área de 1 m² a partir do levantamento de uma leiva de solo na altura de 10 cm; durante o preparo da área, procedeu-se a adubação de fundação com 5 L de esterco ovino curtido por metro linear somado à adubação fosfatada, usando-se o superfosfato simples como fonte de P₂O₅, sendo a quantidade equivalente àquela que proporcionou a maior produtividade de feijão-caupi obtida por Gualter et al. (2008), considerando-se, ainda, as características físico-hídricas e químicas do solo, dispostas na Tabela 1.

O plantio dos genótipos de feijão-caupi foi realizado usando-se duas sementes por cova dispostas no espaçamento de 0,5 m x 0,5 m; deste modo, a parcela continha uma área de 12 m² com 48 plantas, sendo avaliadas 12 plantas úteis das quatro fileiras centrais.

Constata-se na Figura 1, que o regime pluviométrico foi limitado e a evapotranspiração foi elevada; assim, realizaram-se aplicações de lâminas de água por meio de um sistema de irrigação por aspersão, a fim de aplicar lâminas de água em turnos de rega semanais, aplicando-se a lâmina equivalente ao déficit hídrico acumulado da semana, em média 49 mm.

Tabela 1. Atributos físico-hídricos e químicos do solo utilizado no experimento, com amostras coletadas de 0 - 20 cm de profundidade, Pombal-PB, 2014.

Físico-Hídricas	Valor	Químicas	Valor
Granulometria (%)		Complexo sortivo ($\text{mmol}_c \text{ 100 g}^{-1}$)	
Areia	80	Cálcio (Ca^{2+})	5,60
Silte	14,06	Magnésio (Mg^{2+})	2,40
Argila	5,49	Sódio (Na^+)	0,44
Classificação Textural	Areia Franca	Potássio (K^+)	0,79
Densidade do solo (g cm^{-3})	1,48	Fósforo Assimilável (mg 100g^{-1})	5,89
Densidade de partículas (g cm^{-3})	2,64	M.O (g kg^{-1})	8
		Nitrogênio (%)	0,04
Porosidade (%)	43,94	Extrato de Saturação	
Umidade (% Peso)	-	pHps	6,20
Natural	3,03	CEes (dS m^{-1})	0,07
0-1 atm	20,33	Cloreto (meq L^{-1})	3
0,33 atm	17,11	Carbonato (meq L^{-1})	0
1-0 atm	7,91	Bicarbonato (meq L^{-1})	3
5-0 atm	3,97	Sulfato (meq L^{-1})	Ausente
10-0 atm	3,57	Cálcio (Ca^{2+}) (meq L^{-1})	1,35
15-0 atm	3,43	Magnésio (Mg^{2+}) (meq L^{-1})	3,21
		Sódio (Na^+) (meq L^{-1})	0,54
Água disponível (mm/cm)	2,50	Potássio (K^+) (meq L^{-1})	0,74
		Soma de Base	9,23
		PST	4,04

Nota: Laboratório de irrigação e salinidade UFCG/Campina Grande-PB e Laboratório de solos e nutrição de Plantas CCTA/UFCG.

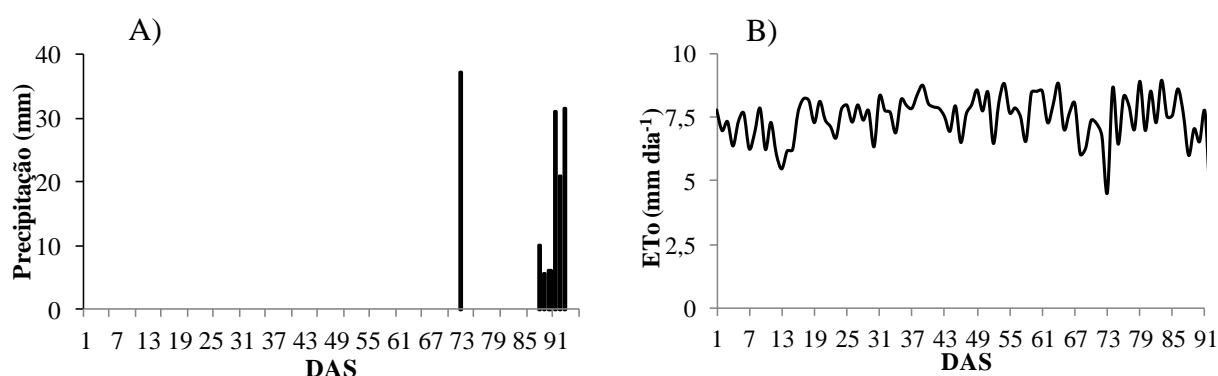


Figura 1. Precipitação pluviométrica (A) e evapotranspiração (B) registrada durante o período de condução do experimento usando dados da estação da Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba (AESAs), coletadas no período de outubro de 2013 a janeiro de 2014, Pombal, PB, 2014.

Ao longo do ciclo da cultura do feijão-caupi, foi acompanhada nos respectivos tratamentos a umidade do solo a 20 cm de profundidade, a fim de identificar o comportamento

da umidade em cada técnica de cultivo estudada, estando os dados dispostos na Figura 2, observando-se uma umidade em base de peso média de 16,9% ($\pm 2,4$) nas bacias, 16,74% ($\pm 2,7$) no camalhão, 18,83% ($\pm 2,7$) nos sulcos e 17,44% ($\pm 2,8$) no convencional.

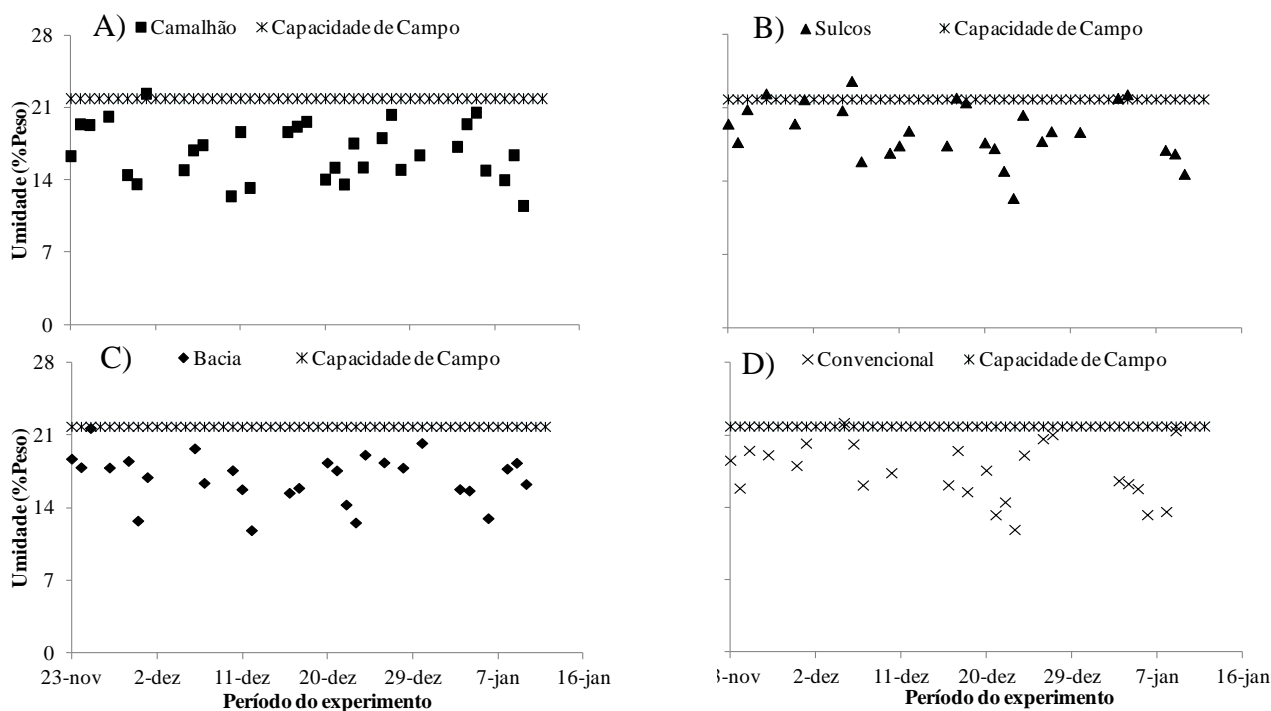


Figura 2. Comportamento da umidade do solo nas técnicas de captação de água Camalhão (A), Sulco (B), Bacia (C) e Sistema Convencional de plantio (D) coletadas no período de outubro de 2013 a janeiro de 2014, Pombal, PB, 2014.

As avaliações da fitomassa foram realizadas aos 43 e 54 dias após a semeadura (DAS), períodos de floração e produção das plantas, respectivamente. As coletas foram realizadas em duas plantas por parcela, mensurando-se a fitomassa seca de caule e de folhas. O material coletado foi levado ao Laboratório de Fitotecnia do CCTA/UFCG, o qual passou por secagem em estufa de circulação de ar por 72 h e, em seguida, o mesmo foi pesado balança analítica, sendo os dados mensurados em gramas (g).

Quando as plantas emitiram o quarto par de folhas definitivas, fase vegetativa V4, 30 DAS, foram determinadas: a Taxa de assimilação de CO_2 (A) ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), transpiração (E) ($\text{mmol de H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$), condutância estomática (g_s) ($\text{mol de H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$) e concentração interna de CO_2 (C_i) na primeira folha madura contada a partir do ápice, usando-se do equipamento portátil de análise de gases por infravermelho (IRGA), "LC Pro +" da ADC BioScientific Ltda, no período de 7 às 9 horas. De posse desses dados foram quantificadas a eficiência instantânea no uso da água ($E_i\text{UA}$) (A/E) [$(\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1})/(\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1})^{-1}$] e a eficiência intrínseca da carboxilação (A/C_i) (Konrad et al., 2005; Ribeiro, 2006; Brito et al., 2012).

Os dados obtidos foram avaliados mediante análise de variância pelo teste F; nos casos de significância foi realizado teste de médias (Tukey para técnicas e Scott-Knott para genótipos, $p < 0,05$) para a interação entre os fatores técnicas de captação de água dentro de cada genótipo (Ferreira, 2011).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Estudando as variáveis fitomassa seca de caule (FSC), folhas (FSF) e parte aérea total

(FSPA), tanto no florescimento (43 DAS), quanto na fase de produção (54 DAS), nota-se que as mesmas foram influenciadas pelos fatores em estudo, apresentando diferenças significativas em relação aos genótipos, técnicas e efeito da interação (genótipos x técnicas) (Tabela 2).

Tabela 2. Resumo das análises de variância para as variáveis (FSC), (FSF) e (FSPA), analisadas no período de florescimento (43 DAS) e produção 54 DAS de genótipos de feijão-caupi em função de técnicas de captação de água Pombal, PB, 2014.

F.V.	G.L.	Quadrados Médios					
		Florescimento			Produção		
		FSC	FSF	FSPA	FSC	FSF	FSPA
Técnica (T)	5	388,0**	1840,9**	3027,9**	26722,2**	14558,4**	78981,8**
Genótipo (G)	3	1288,3**	3805,2**	5392,3**	57051,6**	7768,1**	103692,6**
Int. T x G	15	1175,0**	1058,5**	1864,5**	8299,8**	2781,1**	15302,7**
Bloco	3	89,3	82,1	233,2	160,1	63,0	198,4
Resíduo	69	55,8	102,2	148,141	102,0	77,9	175,8
C,V, (%)		13,29	17,98	10,83	8,56	10,79	6,64
Média		56,19	56,22	112,41	117,90	81,81	199,72

* e ** = Significativo a $p \leq 0,05$ e $p \leq 0,01$ pelo teste F, respectivamente, ns = não significativo a $p \geq 0,05$.

Tais diferenças no rendimento em fitomassa podem ser relacionadas aos hábitos de crescimento dos genótipos estudados e potencializado pelas condições de cultivo expresso pela interação. Essas observações são reforçadas pelos registros de Machado et al. (2008), ao identificarem diferenças na arquitetura e crescimento de genótipos de feijão-caupi.

Para Teixeira et al. (2007), embora a genética tenha mais influência nas características de crescimento do feijão-caupi, este também é influenciado pelas características fenotípicas e o ambiente, como identificado neste trabalho.

Ao estudar as variáveis na fase de floração e frutificação, verifica-se na fitomassa seca de folhas (Tabela 2 e Tabela 3), nas fases de floração e produção, que as maiores médias foram obtidas no BRS Potengi (5), notadamente quando cultivado em camalhão, na fase de floração, com valor de 109,9 g por planta, e em sulcos na fase de produção, com 160,1 g por planta. Na fase de floração, as menores médias foram observadas nas plantas do BRS-Itaim, quando cultivadas em sulcos.

Tal tendência dos dados se repete quando se estuda a fitomassa seca de caule, tanto no florescimento quanto na produção (Tabela 3 e Tabela 4). Percebe-se que o uso do camalhão proporcionou melhores resultados na maioria dos genótipos estudados, com destaque ao BRS Potengi (5), sendo os valores médios 77,0 g e 267,5 g na floração e produção, respectivamente.

Este resultado pode ser relacionado ao condicionamento melhor do solo, como a maior aeração ao proporcionar melhoria nas condições de crescimento das raízes, assim como identificado por Cunha et al. (2011a; 2011b).

Ao estudar a fitomassa da parte aérea nas fases de floração e produção (Tabela 3 e Tabela 4), que na verdade é o somatório das fitomassas anteriores, confirma-se que o cultivo em camalhão possibilita maior ganho de fitomassa, notadamente no genótipo BRS Potengi, com 186,88 g. Ademais, os menores valores de fitomassa foram observados nas plantas do

BRS - Itaim na floração quando sob cultivo convencional e do Costela de Vaca, também, no mesmo sistema de cultivo na fase de produção.

Tabela 3. Fitomassa seca do caule (g), das folhas (g) e da parte aérea (g), analisadas no período de florescimento 43 DAS, de genótipos de feijão-caupi em função de técnicas de captação de água Pombal, PB, 2014.

Técnica	Genótipos*					
	1	2	3	4	5	6
-----Fitomassa seca de folhas na floração (g)-----						
Bacia	58,2aA*	53,8aA	33,9bB	51,7bA	52,3cA	66,6aA
Cam.	67,1aB	33,2bC	54,3aB	64,1abB	109,9aA	64,8aB
Conv.	65,3aB	40,7abC	64,3aB	81,7aA	87,9dA	60,2aB
Sulcos	38,0bB	24,1bB	64,6aA	50,7bA	31,6bB	30,5bB
-----Fitomassa seca de caule na floração-----						
Bacia	57,1bA	29,5bC	66,8aA	56,5bA	45,3bB	65,8bA
Cam	73,8aA	63,1aB	61,5aB	61,0bB	77,0aA	60,1bB
Conv.	44,0bC	40,7bC	60,4aB	15,5cD	46,4bC	85,3aA
Sulcos	53,9bC	62,6aB	40,8bD	77,5aA	61,8bB	42,4cD
-----Massa seca de parte aérea na floração-----						
Bacia	115,3bA	83,39aC	100,7bB	108,2abB	97,6cB	132,4aA
Cam.	140,9aB	96,3aD	115,8abC	125,2aC	186,9aA	124,9aC
Conv.	109,3bcB	81,3aC	124,7aA	97,2bB	134,3bA	145,5aA
Sulcos	91,9cC	86,7aC	105,5abB	128,1aA	93,4cC	72,8bC

*Mesma letra minúscula entre técnicas e maiúsculas entre genótipos não diferem conforme teste de Tukey e Scott-Knott, respectivamente, à 5% de probabilidade.

*Genótipos: 1. Costela de Vaca, 2. BRS Itaim, 3. BRS Guariba, 4. BR-17 Gurguéia, 5. BRS Potengi e 6. BRS Aracé. Técnicas: Cam = Camalhão; Conv = convencional.

Tabela 4. Fitomassa seca do caule (g), das folhas (g) e da parte aérea (g), aos 54 DAS, de genótipos de feijão-caupi em função de técnicas de captação de água, Pombal, PB, 2014.

Técnica	Genótipos*					
	1	2	3	4	5	6
-----Fitomassa seca de folhas na produção (g)-----						
Bacia	44,2aD*	47,4bD	124,6aA	81,0bC	98,1cB	81,5bC
Cam.	45,6aD	54,4bD	80,9bcC	110,0aB	138,2bA	142,2aA
Conv.	25,6bB	77,9aA	70,4cA	31,3dB	69,0dA	69,3bA
Sulcos	44,5aD	63,1abC	95,1bB	55,6cC	160,1aA	153,7aA
-----Fitomassa seca de caule na produção-----						
Bacia	76,5aC	72,9bC	90,5cB	128,3aA	91,8dB	63,9bC
Cam	76,8aD	99,2aC	254,0aA	110,3aC	267,5aA	208,9aB
Conv.	38,8bC	72,6bB	63,4dB	50,4cC	116,8cA	58,0bB
Sulcos	80,9aE	113,6aD	144,4bC	89,2bE	239,7bA	221,4aB
-----Massa seca de parte aérea na produção-----						
Bacia	120,7aD	120,3cD	215,2bA	209,3aA	189,9bB	145,3bC
Cam.	122,5aE	153,6abD	334,8aB	220,3aC	405,7aA	351,0aB
Conv.	64,4bD	150,7bB	133,8cC	81,7cD	185,7bA	127,3bC
Sulcos	125,4aF	176,7aD	239,5bC	144,8bE	399,8aA	375,0aB

*Mesma letra minúscula entre técnicas e maiúsculas entre genótipos não diferem conforme teste de Tukey e Scott-Knott, respectivamente, $p < 0,05$. *genótipos: 1. Costela de Vaca, 2. BRS Itaim, 3. BRS Guariba, 4. BR-17 Gurguéia, 5. BRS Potengi e 6. BRS Aracé. Técnicas: Cam = Camalhão; Conv = convencional.

Estudando-se as variáveis fisiológicas na fase V4, nota-se que não houve diferenças significativas ($p \leq 0,01$) entre as técnicas pesquisadas. Quanto aos genótipos, houve diferenças entre nas variáveis fotossíntese líquida (A), concentração intercelular de CO_2 (C_i) e nas Eficiências instantânea no uso da água ($EiUA$) e intrínseca da carboxilação ($EiCi$) (Tabela 5). Já quanto à interação entre as técnicas de cultivo e os genótipos, verificou-se efeito significativo nos valores de A e na condutância estomática (g_s) (Tabela 5). Efeito nas trocas gasosas, notadamente na condutância estomática, também foi observado por Nascimento et al. (2011), quando estudaram genótipos de feijão-caupi sob estresse hídrico. Esses pesquisadores destacaram que o fechamento dos estômatos é uma das primeiras respostas ao déficit de água; fato que também pode ser observado neste trabalho em decorrência da variação na umidade do solo entre as técnicas de cultivo na época de avaliação.

Tabela 5. Resumo das análises de variância relativas à fotossíntese líquida (A) ($\mu\text{mol de CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), transpiração (E), $\mu\text{mol de H}_2\text{O mol de CO}_2^{-1} \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, condutância estomática (g_s), mols de $\text{CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, concentração interna de $\text{CO}_2(C_i)$, $\text{mmol CO}_2 \text{ m}^{-2}$, Eficiência instantânea no uso da água ($EiUA$), ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1})/(\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1})^{-1}$, Eficiência intrínseca da carboxilação ($EiCi$) ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1})/(\text{mmol mol de CO}_2^{-1})$, na fase vegetativa V4 de genótipos de feijão-caupi em função de técnicas de captação de água avaliada aos 34 dias após sementeira, Pombal, PB, 2014.

F.V.	G.L.	Quadrados Médios					
		A	C_i	E	g_s	EiCi	EiUA
Técnica (T)	3	7,2217 ^{ns}	97,6901 ^{ns}	0,1404 ^{ns}	0,0048 ^{ns}	0,0002 ^{ns}	0,2857 ^{ns}
Genótipo (G)	5	56,2848 ^{**}	1568,9546 ^{**}	0,8848 ^{ns}	0,0054 ^{ns}	0,0047 ^{**}	3,9869 ^{**}
Int. T x G	15	12,8938 ^{**}	131,4713 ^{ns}	0,9981 ^{ns}	0,0093 ^{**}	0,0004 ^{ns}	0,1533 ^{ns}
Bloco	3	24,8962 ^{ns}	766,1345 ^{ns}	8,6995 ^{ns}	0,0122 ^{ns}	0,0014 [*]	10,0387 ^{ns}
Resíduo	69	5,2966	270,2414	0,5715	0,0027	0,0004	0,3753
C.V. (%)	9.54	10,70	9,54	13,48	16,32	17,50	15,52
Média	172.2343	21,5156	172,2343	5,6100	0,3191	0,1271	3,9477

* e ** = Significativo a $p \leq 0,05$ e $p \leq 0,01$ pelo teste F, respectivamente, ns = não significativo a $p \geq 0,05$.

Para a fotossíntese (A), as maiores médias foram obtidas no ‘BRS Guariba’ seguido do ‘BRS Aracé, ambas cultivadas na técnica de sulcos (Tabela 6). Todavia, deve-se salientar que, independente da técnica ou genótipo, os valores observados para taxa de assimilação líquida foram superiores a $14,76 \mu\text{mol de CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, o que significa dizer que as plantas se encontravam em condições adequadas de cultivo, pois em plantas de metabolismo C_3 os valores de fotossíntese oscilam, normalmente, entre 10 e $20 \mu\text{mol de CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (Taiz e Zeiger, 2013).

Acrescenta-se que a adequada condição de cultivo pode ser atestada quando se comparam os resultados de fotossíntese obtidos neste trabalho com os observados por Ferraz et al. (2012), que ao estudar as trocas gasosas de ecótipos de feijão *Phaseolus* no semiárido, observaram valores de fotossíntese entre 7 e $10 \mu\text{mol de CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, às 9 horas da manhã, e de 18 e $21 \mu\text{mol de CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ às 10 horas. Esses valores foram inferiores aos obtidos neste trabalho, cuja avaliação foi realizada entre 7 e 9 horas, devido à espécie. Berova et al. (2012) também notaram, estudando genótipos de feijão-caupi sob estresse hídrico natural, valores de fotossíntese líquida entre 15 e $20 \mu\text{mol de CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ quando as plantas estavam em condições de irrigação, valores similares aos obtidos neste trabalho. Ainda, Ninou et al. (2013), ao analisarem as trocas gasosas de genótipos de feijão-caupi sob déficit hídrico, verificaram valores entre 2,1 e $12,9 \mu\text{mol de CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, na menor e maior disponibilidade de água no solo.

Na concentração interna de CO₂, observou-se diferença entre as técnicas ao constatar valores entre 160 e 200 mmol de CO₂ m⁻² (Tabela 6). Esses valores são considerados baixos quando comparados aos citados entre as plantas C₃ (200 e 250 mmol de CO₂ m⁻²) (Taiz e Zeiger, 2013).

Tabela 6. Teste de médias relativas à fotossíntese líquida (*A*), transpiração (*E*), condutância estomática (*gs*) e concentração interna de CO₂ (*Ci*) na fase V4 dos genótipos de feijão-caupi sob técnicas de captação de água, Pombal, PB, 2014.

Técnicas	Genótipos **					
	1	2	3	4	5	6
----- <i>A</i> -----						
Bacia	22,67aA *	22,80aA	21,88aA	19,23aB	18,57abB	20,86abA
Cam.	22,0aA	23,77aA	22,81aA	20,93aA	21,23aA	18,05bB
Conv.	23,3aA	22,69aA	23,92aA	19,99aA	14,76bB	23,20aA
Sulcos	22,8aA	21,72aA	24,78aA	22,25aA	18,55abB	23,60aA
----- <i>E</i> -----						
Bacia	5,72aA	5,63aA	5,15aA	5,23aA	5,84abA	5,10aA
Cam.	5,13aB	5,83aA	5,63aA	5,96aA	6,75aA	4,63aB
Conv.	5,80aA	5,64aA	5,81aA	5,71aA	4,78bA	5,80aA
Sulcos	5,12aA	5,83aA	5,83aA	5,97aA	5,74abA	5,42aA
----- <i>gs</i> -----						
Bacia	0,31aA	0,35aA	0,31aA	0,26aA	0,28bA	0,28bcA
Cam.	0,29aB	0,33aB	0,32aB	0,32aB	0,40aA	0,26cB
Conv.	0,33aA	0,35aA	0,35aA	0,31aA	0,21bB	0,40aA
Sulcos	0,30aB	0,32aB	0,39aA	0,34aB	0,28bB	0,36abA
----- <i>Ci</i> -----						
Bacia	160,63aA	172,88aA	166,88aA	172,38aA	184,63aA	164,88aA
Cam.	163,38aB	158,88aB	166,50aB	178,88aA	195,63aA	163,00aB
Conv.	160,38aA	172,75aA	163,63aA	181,00aA	190,13aA	181,63aA
Sulcos	155,63aA	173,25aA	171,38aA	173,63aA	186,38aA	175,38aA

*Mesma letra minúscula entre técnicas e maiúsculas entre genótipos não diferem conforme teste de Tukey e Scott-Knott, $p < 0,05$, respectivamente. **Genótipos: 1. Costela de Vaca, 2. BRS Itaim, 3. BRS Guariba, 4. BR-17 Gurguéia, 5. BRS Potengi e 6. BRS Aracé. Técnicas: Cam = Camalhão; Conv = convencional.

Alta taxa fotossintética com baixa concentração de carbono pode induzir o fechamento estomático, reduzindo o processo de transpiração e obtendo maior eficiência no uso da água. Neste sentido, ao avaliar a transpiração (*E*), nota-se diferença entre as técnicas apenas no genótipo ‘BRS Potengi’, no qual os valores variaram de 4,78 μmol de H₂O mol de CO₂⁻¹ m⁻² s¹ no cultivo convencional à 6,75 μmol de H₂O mol de CO₂⁻¹ m⁻² s¹ em camalhão (Tabela 6).

Comportamento semelhante à transpiração foi observado na condutância estomática (*gs*),

a qual reflete o grau de abertura dos estômatos, verificando-se os maiores valores médios nas plantas de ‘BRS Potengi’ e ‘BRS Aracé’ quando cultivadas em camalhão e no sistema convencional, respectivamente, com o menor resultado obtido no ‘BRS Potengi’ sob cultivo convencional (Tabela 6).

Acrescenta-se que os valores médios de condutância variaram de 0,21 a 0,4 mol de $\text{H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ e que já foi observado na fotossíntese líquida, que os valores estavam dentro da normalidade para plantas C_3 (Taiz e Zeiger, 2013); deste modo, e embora tenha havido uma restrição em nível de estômato, as plantas de feijoeiro conseguiram manter uma taxa fotossintética elevada. Ainda, os valores de condutância observados neste trabalho são semelhantes aos encontrados por Prazeres et al. (2015), quando condicionaram genótipos de feijão-caupi ao menor nível de salinidade da água e às doses de potássio.

Acrescenta-se que a restrição hídrica por estresses abióticos tende a reduzir a condutância estomática e a taxa fotossintética, todavia, a restrição na fotossíntese foi, nesta pesquisa, menos notória, fato atribuído ao aumento na eficiência na carboxilação (Nascimento et al., 2011; Silva et al., 2013).

Oliveira et al. (2005), estudando o comportamento da condutância estomática de *Phaseolus* ao longo do dia sob lâminas de irrigação, verificaram g_s de 0,17 mol de $\text{CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ na maior lâmina de irrigação, em que esse valor foi inferior ao obtido nesta pesquisa; todavia, essa diferença pode ser atribuída, também, à diferença entre as espécies.

Em plantas de feijão-caupi, os resultados são variados, a exemplo de Berova et al. (2012) que, avaliando as trocas gasosas em folhas dessa leguminosa quando irrigados ou em sequeiro, notaram, na condição irrigada, valor máximo de g_s de 0,2 mol $\text{m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. Por outro lado, Silva et al. (2013) verificaram, em plantas da mesma espécie sob estresse salino, em condições de baixa salinidade da água (0,5 dS m^{-1}), condutância estomática de 0,9 mol $\text{m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, ou seja, valor superior aos obtidos neste trabalho.

Para Machado et al. (2005), a eficiência intrínseca de carboxilação (EiCI) é a relação entre a concentração intracelular de CO_2 e a fotossíntese líquida, e possibilita identificar fatores não estomáticos que estão interferindo na fotossíntese.

Considerando o fato, ao avaliar a EiCi nos genótipos de feijoeiro, verificou-se que não houve diferença significativa entre as técnicas (Tabela 5), mas somente entre genótipos, identificando-se o menor valor [0,08 ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)/(mmol mol de CO_2^{-1}) $^{-1}$] no ‘BRS Potengi’ sob cultivo convencional e o maior valor [0,15 ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)/(mmol mol de CO_2^{-1}) $^{-1}$] em plantas da ‘BRS Itaim’ sob cultivo em camalhão, fato este relacionado ao potencial genético da planta (Tabela 7).

Os valores observados neste trabalho foram superiores aos observados por Ferraz et al. (2012) que, avaliando as trocas gasosas em ecótipos de feijoeiro *Phaseolus vulgaris* L. nas condições de semiárido, observaram valores entre 0,03 e 0,08 ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) (mmol mol de CO_2^{-1}) $^{-1}$. Ressalta-se que o feijão *Phaseolus vulgaris* L não suporta temperaturas elevadas, como o feijão-caupi, o que reflete no potencial de crescimento da planta.

Tendo em vista a limitação hídrica, deve-se pensar, na maioria das situações, em aumentar a eficiência no uso da água, ou seja, produzir mais com menor quantidade de água. Assim, verifica-se que não houve diferença entre as técnicas em cada genótipo; todavia, de maneira geral os maiores valores de eficiência instantânea no uso da água foram observados no genótipo ‘BRS Aracé’ quando cultivado em camalhão, com valor de 4,89 μmol de CO_2 mmol de $\text{H}_2\text{O}^{-1} \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (Tabela 7).

Nota-se que não houve diferença significativa entre os métodos em cada genótipo, no entanto menores valores de eficiência no uso da água foram constatados nas plantas de ‘BRS Potengi’, na qual ocorreu variação de 3,03 a 3,21 $\mu\text{mol CO}_2$ mmol $\text{H}_2\text{O}^{-1} \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (Tabela 7). Salienta-se que, embora seja necessário para uma conclusão definitiva, ao observar os dados de formação de fitomassa, verifica-se elevado consumo de água nas condições de semiárido,

sendo este genótipo o menos indicado em função da produção de carboidratos.

Tabela 7. Teste de médias relativas à Eficiência instantânea no uso da água (EiUA), Eficiência intrínseca da carboxilação (EiCI), na fase vegetativa V4 dos genótipos de feijão-caupi em função de técnicas de captação de água avaliadas aos 34 dias após a semeadura, Pombal, PB, 2014.

Técnicas	Genótipos					
	1	2	3	4	5	6
	-----EiUA-----					
Bacia	3,96aA*	3,79aA	4,35aA	3,66aA	3,19aA	4,20aA
Cam.	4,31aA	3,95aA	4,16aA	3,53aB	3,21aB	4,89aA
Conv.	4,05aA	4,03aA	4,36aA	3,50aB	3,03aB	4,15aA
Sulcos	4,46aA	3,74aB	4,40aA	3,75aB	3,25aB	4,82aA
	-----EiCi-----					
Bacia	0,14aA	0,13aA	0,13aA	0,11aA	0,10aA	0,13aA
Cam.	0,14aA	0,15aA	0,14aA	0,12aB	0,11aB	0,11aB
Conv.	0,15aA	0,14aA	0,15aA	0,11aB	0,08aB	0,13aA
Sulcos	0,15aA	0,13aA	0,15aA	0,13aA	0,10aB	0,14aA

*Mesma letra minúscula entre técnicas e maiúsculas entre genótipos não diferem conforme teste de Tukey e Scott-Knott, à 5% de probabilidade, respectivamente. * Genótipos: 1. Costela de Vaca, 2. BRS Itaim, 3. BRS Guariba, 4. BR-17 Gurguéia, 5. BRS Potengi e 6. BRS Aracé. Técnicas: Cam = Camalhão; Conv = convencional.

Tais valores são, porém, considerados interessantes, pois Ninou et al. (2013) mensuraram, analisando genótipos de feijão-caupi sob estresse hídrico no mediterrâneo, valores de eficiência intrínseca no uso da água entre 0,8 e 1,63 $\mu\text{mol}_{\text{CO}_2} \text{mmol}_{\text{H}_2\text{O}} \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$, confirmando que as condições de cultivo às quais os genótipos foram expostas neste trabalho estavam adequadas.

4. CONCLUSÕES

O maior acúmulo de fitomassa em plantas de feijão-caupi ocorre no caule;

O cultivo em camalhão proporciona maior rendimento de fitomassa, notadamente em feijoeiro BRS - Potengi;

Os genótipos BRS - Aracé e a Guariba, quando cultivados em sulcos, possuem maior potencial de fotossíntese líquida;

O plantio em sulco ou camalhão são estratégias de cultivo mais recomendadas para o feijão-caupi por favorecer o crescimento e as trocas gasosas das plantas.

5. AGRADECIMENTOS

À Embrapa Meio-Norte, pelo envio de sementes. Artigo derivado de parte da Dissertação de Mestrado do primeiro autor apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Sistemas Agroindustriais da Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar.

6. REFERÊNCIAS

- AGHAEI, A.; MORADI, F.; ZARE-MAIVAN, H.; ZARINKAMAR, F.; POUR IRANDOOST, H.; SHARIFI, P. Physiological responses of two rice (*Oryza sativa* L.) genotypes to chilling stress at seedling stage. **African Journal of Biotechnology**, v. 10, n. 39, p. 7617-7621, 2011.
- BEROVA, M.; STOILOVA, T.; KUZMOVAL, K.; STOEVAL, N.; VASSILEVL, A.; ZLATEVL, Z. Changes in the leaf gas exchange, leaf water potential and seed yield of cowpea plants (*Vigna unguiculata* L.) under soil drought conditions. **Agricultural Sciences**, v. 4, n. 8, 2012.
- BORGES, T. K. S.; MONTENEGRO, A. A. A.; SANTOS, T. E. M. DOS; SILVA, D. D. DA; SILVA JUNIOR, V. P. Influência de práticas conservacionistas na umidade do solo e no cultivo do milho (*Zea mays* L.) em semiárido nordestino. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.38, n.6, p. 1862-1873, 2014.
- BRITO, M. E. B.; SOARES, L. A. DOS A.; FERNANDES, P. D.; LIMA, G. S. DE; SÁ, F. V. DA S.; MELO, A. S. Comportamento fisiológico de combinações copa/porta-enxerto de citros sob estresse hídrico. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.7, p.857-865, 2012.
- CSISZÁR, J.; GALLÉ, Á.; HORVÁTH, E.; DANCSÓ, P.; GOMBOS, M.; VÁRY, Z.; ERDEI, L.; GYÖRGYÉY, J.; TARI, I. Different peroxidase activities and expression of abiotic stress-related peroxidases in apical root segments of wheat genotypes with different drought stress tolerance under osmotic stress. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 52, p. 119-129, 2012. <http://dx.doi.org/10.1016/j.plaphy.2011.12.006>
- CUNHA, E. Q.; STONE, L. F.; MOREIRA, J. A. A.; FERREIRA, E. P. B.; DIDONET, A. D.; LEANDRO, W. M. Sistemas de preparo do solo e culturas de cobertura na produção orgânica de feijão e milho. I - Atributos físicos do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 589-602, 2011a. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832011000200028>
- CUNHA, E. Q.; STONE, L. F.; MOREIRA, J. A. A.; FERREIRA, E. P. B.; DIDONET, A. D.; LEANDRO, W. M. Sistemas de preparo do solo e culturas de cobertura na produção orgânica de feijão e milho. II - Atributos biológicos do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 603-611, 2011b. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832011000200029>
- DURET, T.; BARON, V.; ANJOS, J. B. "Systemes de cultures" experimentes dansle Nordeste du Brazil. **Machinisme Agricole Tropicale**, n. 94, p. 62-74, 1986.
- FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011. <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542011000600001>
- FERRAZ, R. L. S.; MELO, A. S.; SUASSUNA, J. F.; BRITO, M. E. B.; FERNANDES, P. D.; NUNES JÚNIOR, E. S. Trocas gasosas e eficiência fotossintética em ecótipos de feijoeiro cultivados no semiárido. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 42, n. 2, p. 181-188, 2012.
- FREITAS, R. M. O. DE; DOMBROSKI, J. L. I.; FREITAS, F. C. L. DE; NOGUEIRA, N. W.; PINTO, J. R. S. Crescimento de feijão-caupi sob efeito de veranico nos sistemas de plantio direto e convencional. **Bioscience Journal**, v. 30, n. 2, p. 393-401, 2014.

- GUALTER, R. M. R.; LEITE, L. F. C.; ARAÚJO, A. S. F. DE; ALCANTARA, R. M. C. M.; COSTA, D. B. R. Inoculação e Adubação mineral em feijão Caupi: Efeitos na nodulação, crescimento e produtividade. **Scientia Agraria**, v.9, n.4, p.469-474, 2008.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. Sistema de Recuperação Automática – SIDRA. 2013. Disponível em: <http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/tabela/listabl.asp?c=1613&z=t&o=11>. Acesso em: 14 jan. 2014
- KONRAD, M. L. F.; SILVA, J. A. B.; FURLANI, P. R.; MACHADO, E. C. Trocas gasosas e fluorescência da clorofila em seis cultivares de cafeeiro sob estresse de alumínio. **Bragantia**, v. 64, n. 3, p. 339-347, 2005. <http://dx.doi.org/10.1590/S0006-87052005000300004>
- MACHADO, E. C.; SCHMIDT, P. T.; MEDINA, C. L.; RIBEIRO, R. V. Reposas da fotossíntese de três espécies de citros a fatores ambientais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 40, n. 12, p. 1161-1170, 2005. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2005001200002>
- MACHADO, C. DE F.; TEIXEIRA, N. J. P.; FREIRE FILHO, F. R.; ROCHA, M. DE M.; GOMES, R. L. F. Identificação de genótipos de feijão-caupi quanto à precocidade, arquitetura da planta e produtividade de grãos. **Revista Ciência Agronômica**, v. 39, n. 01, p. 114-123, 2008.
- NASCIMENTO, S. P. DO; BASTOS, E. A.; ARAÚJO, E. C. E.; FREIRE FILHO, F. R.; SILVA, E. M. DA. Tolerância ao déficit hídrico em genótipos de feijão-caupi. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n. 8, p. 853-860, 2011. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662011000800013>
- NINOU, E.; TSIALTAS, J. T.; DORDAS, C. A.; PAPAKOSTA, D. K. Effect of irrigation on the relationships between leaf gas exchange related traits and yield in dwarf dry bean grown under Mediterranean conditions. **Agricultural Water Management**, v. 116, p. 235-241, 2013. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agwat.2012.08.002>
- OLIVEIRA, A. D.; FERNANDES, E. J.; RODRIGUES, T. J. D. Condutância estomática como indicador de estresse hídrico em Feijão. **Engenharia Agrícola**, v. 25, p. 86-95, 2005. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-69162005000100010>
- POTTORFF, M.; ROBERTS, P. A.; CLOSE, T. J.; LONARDI, S.; WANAMAKER, S.; EHLERS, J. D. Identification of candidate genes and molecular markers for heat-induced brown discoloration of seed coats in cowpea [*Vigna unguiculata* (L.) Walp]. **BioMed Central Genomics**, v. 15, n. 328, 2014.
- PRAZERES, S. S.; LACERDA, C. F. DE; BARBOSA, F. E. L.; AMORIM, A. V.; ARAUJO, I. C. S.; CAVALCANTE, L. F. Crescimento e trocas gasosas de plantas de feijão-caupi sob irrigação salina e doses de potássio. **Revista Agro@mbiente On-line**, v. 9, n. 2, p. 111-118, 2015. <http://dx.doi.org/10.18227/1982-8470ragro.v9i2.2161>
- RIBEIRO, R. V. **Variação sazonal da fotossíntese e relações hídricas de laranjeira “Valência”**. 2006. 157f. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, Brasil, 2006.

- SANTOS, J. C. N. DOS; ANDRADE, E. M. DE; MEDEIROS, P. H. A.; ARAÚJO NETO, J. R. DE; PALÁCIO, H. A. DE Q.; RODRIGUES, R. DO N. Determinação do fator de cobertura e dos coeficientes da MUSLE em microbacias no semiárido brasileiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**, v.18, n.11, p. 1157-1164, 2014. <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v18n11p1157-1164>
- SILVA, F. L. B. DA; LACERDA C. F. DE; NEVES, A. L. R.; SOUSA, G. G. DE; SOUSA, C. H. C. DE; FERREIRA, F. J. Irrigação com águas salinas e uso de biofertilizante bovino nas trocas gasosas e produtividade de feijão-de-corda. **Irriga**, v. 18, n. 2, p. 304-317, 2013. <http://dx.doi.org/10.15809/irriga.2013v18n2p304>
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5. ed. São Paulo: Artmed, 2013. 918p.
- TEIXEIRA, N. J. P.; MACHADO, C. DE F.; FREIRE FILHO, F. R.; ROCHA, M. DE M.; GOMES; R. L. F. Produção, componentes de produção e suas inter-relações em genótipos de feijão-caupi [*Vigna unguiculata* (L.) walp.] de porte ereto. **Revista Ceres**, v. 54, n. 314, 2007.