

TEOR E ACÚMULO DE NUTRIENTES EM GRÃOS DE FEIJÃO COMUM EM SEMEADURA DIRETA, SOB DÉFICIT HÍDRICO

JOSÉ JOAQUIM DE CARVALHO¹; JOÃO CARLOS CURY SAAD²; ALEFE VIANA SOUZA BASTOS³; SARA SANTIAGO NAVES⁴; FREDERICO ANTÔNIO LOUREIRO SOARES⁵ E VITOR MARQUES VIDAL⁶

¹ Tecnólogo em irrigação e drenagem, Pós-doutorando, Instituto Federal Goiano – Câmpus Rio Verde – GO., josejoaquimcarvalho@yahoo.com.br

² Engenheiro agrônomo, Prof. Doutor, UNESP – Câmpus de Botucatu, Botucatu – SP., joaosaad@fca.unesp.br

³ Graduando em Agronomia, Instituto Federal Goiano – Câmpus Rio Verde – GO., alefe_viana@hotmail.com

⁴ Graduanda em Agronomia, UFG – Câmpus Samambaia – GO., saradeescorpiao@yahoo.com.br

⁵ Engenheiro agrônomo, Prof. Doutor, Instituto Federal Goiano – Câmpus Rio Verde – GO., fredalsoares@hotmail.com

⁶ Engenheiro agrícola, Mestrando em ciências agrárias, professor, Instituto Federal Goiano – Câmpus Rio Verde – GO., vmarquesvidal@gmail.com

1 RESUMO

O feijão comum possui notória importância socioeconômica, constitui uma das mais importantes fontes proteicas da dieta brasileira e juntamente com o arroz, proporciona uma dieta mais vantajosa e equilibrada em termos de aminoácidos. O objetivo desse trabalho foi avaliar o efeito das combinações de diferentes reposições hídricas nas fases vegetativa - I e reprodutiva - II, durante o ciclo do feijoeiro IAC Alvorada, e comparar o teor nutricional dos grãos. Foi utilizado o delineamento em blocos casualizados, com quatro repetições em fatorial 4 x 4, sendo quatro níveis de déficit hídrico 100, 80, 60 e 40% da evapotranspiração da cultura (ETc) e os mesmos níveis foram repetidos em duas fases de desenvolvimento da cultura do feijão (fases I e II). Cada parcela possuía as dimensões de 4 m x 1,8 m, totalizando 7,2 m². A semeadura realizou-se em abril e maio de 2010 e 2011, no espaçamento de 0,45 m. Inicialmente irrigou-se pelo sistema aspersão convencional em um período de 60 minutos diariamente, posteriormente o sistema adotado foi por gotejamento, conforme cada tratamento de restrição hídrica. Avaliaram-se os teores nutricionais de macro (N, P, K, Ca, Mg e S) e micronutrientes (B, Cu, Fe, Mn e Fe). A interação entre as lâminas nas fases I e II influenciou nos teores de micronutrientes Fe e S em grãos de feijão. Houve aumento dos teores de Fe e diminuição dos teores de Cu, Mn e B com a deficiência hídrica em uma das fases. Os macro e micronutrientes mais extraídos foram N, P, K, Fe, B e Mn. O N e o P são os nutrientes exportados em maior quantidade pelos grãos.

Palavras-chave: *Phaseolus vulgaris*, lâminas de irrigação, componentes de produção

2 INTRODUÇÃO

O feijão comum *Phaseolus vulgaris* L, ocupa lugar de destaque na agricultura brasileira, sendo caracterizado como forte produto no mercado interno, com grãos que representam uma importante fonte de proteínas e minerais na dieta da população, além de possuir notória importância socioeconômica.

A proteína do feijão é rica no aminoácido essencial lisina, porém pobre nos aminoácidos sulfurados, metionina e cisteína, essenciais ao homem. Já os cereais são pobres

em lisina, mas ricos em aminoácidos sulfurados, o que torna a tradicional dieta brasileira, arroz com feijão, complementar em termos de aminoácidos essenciais. Por isso, a combinação com cereais se faz necessária, para que se obtenha uma dieta com conteúdo de aminoácidos mais adequados aos requisitos nutricionais da espécie humana.

A maioria das cultivares de feijão utilizadas no Brasil apresenta de 20 a 25% de proteína (Borén e Carneiro, 2008), sendo este utilizado como alternativa em substituição a carnes e outros produtos proteicos (Rios et al., 2003). Para tanto, a obtenção de cultivares com elevado potencial produtivo e adaptadas ao ambiente de cultivo, juntamente aos sistemas conservacionista de manejo de solo e colheita mecanizada, devem estar aliadas à nutrição mineral adequada e equilibrada.

Dentre os nutrientes essenciais ao ser humano, destacam-se: proteínas, ferro, cálcio, magnésio, zinco, vitaminas (principalmente do complexo B), carboidratos e fibras. Com relação aos nutrientes minerais, os grãos de feijão são ricos, principalmente, em potássio (25-30% do conteúdo total de minerais), fósforo (cerca de 0,4%), ferro (cerca de 0,007%), cálcio, zinco e magnésio (Araújo et al., 1996).

Quanto à semeadura, as épocas recomendadas concentram-se, basicamente, em três períodos: cultivo das “águas”, de setembro a dezembro, cultivo da “seca” ou safrinha, de janeiro a março e cultivo de “outono-inverno” ou terceira época, de abril a julho (Barbosa & Gonzaga, 2012). Geralmente, o feijão é cultivado em sistemas solteiro ou consorciado com outras culturas.

O nitrogênio é o nutriente mais utilizado para o feijoeiro e tem influência significativa na produtividade (Silva et al., 2006). O cálcio tem participação na divisão e na alongação celular, com função cimentante, ligando uma célula à outra, na forma de pectato de cálcio, melhorando a qualidade dos frutos e o pegamento das floradas, atuando na germinação do grão de pólen e no crescimento do tubo polínico. O boro atua na divisão e na diferenciação celular, no metabolismo e no transporte de carboidratos e diversos outros processos (Coetzer et al., 1990). Pastorini et al. (2000), relatam que o fósforo é o nutriente que tem proporcionado as maiores e mais frequentes respostas, sendo que sua baixa disponibilidade no solo afeta negativamente o crescimento das plantas e sua produção.

A tolerância à deficiência hídrica é uma característica importante em qualquer cultivo, principalmente no feijoeiro, tornando-se possível a sua produção em extensas áreas. A maneira como a deficiência hídrica se manifesta na planta do feijoeiro é bastante complexa, pois afeta praticamente todos os processos do crescimento, sendo que, os prejuízos causados dependem da duração, do tipo de estresse, da severidade e do estágio de desenvolvimento da planta em que ocorre.

O objetivo deste trabalho foi avaliar o acúmulo de nutrientes em grãos da cultivar cv. IAC Alvorada, em resposta aos tratamentos com deficiência hídrica em duas fases fenológicas durante o ciclo do feijoeiro.

3 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido numa área de 1.600 m² no ano de 2010 e 2011, em sistema de semeadura direta durante o inverno, na Fazenda Experimental Lageado do Departamento de Engenharia Rural da Faculdade de Ciências Agrônomicas - UNESP, Campus de Botucatu, na região centro oeste do Estado de São Paulo que se encontra a 22°51' de latitude sul, 48°26' de longitude oeste de Greenwich, e altitude de 786 metros.

De acordo com Cepagri (2010), pela classificação de Koeppen, o tipo climático é o Cwa, caracterizado como clima temperado quente (mesotérmico) com chuvas no verão e seca no inverno. O período seco compreende os meses de abril a agosto, e a estação chuvosa compreende os meses de setembro a março, sendo o mês de janeiro o mais chuvoso, com uma pluviosidade total anual média de 1.314 mm e temperatura média mensal de 19,4°C.

Os valores médios das características químicas do solo, na camada de 0-0 a 0,2 m, antes da instalação do ensaio, foram de: 4,7 de pH em CaCl₂; 21,0 g dm⁻³ de matéria orgânica; 4,7 mg dm⁻³ de Presina; 1,7; 13; 7; 30 e 1 mmolc dm⁻³, respectivamente, de K, Ca, Mg, H + Al e Al, e 41,5% de saturação por bases (V%), 0,16; 11,55; 38,5; 13,85; 1,15 mg dm⁻³ de B, Cu, Fe, Mn e Zinco, respectivamente. Obteve-se a análise granulométrica do solo, com valores de 42,31, 44,47 e 13,21% de areia, silte e argila, respectivamente e a densidade do solo pela metodologia do torrão parafinado, com valores de 1,35 e 1,38 g cm⁻³ para 0 a 15 cm e 15 a 30 cm de profundidade, respectivamente.

No segundo ano, na camada de 0-0 a 0,2 m, antes da instalação do ensaio, os valores foram de: 4,85 de pH em CaCl₂; 24,0 g dm⁻³ de matéria orgânica; 24 mg dm⁻³ de Presina; 1,9; 29; 14; 40 e 1 mmolc dm⁻³, respectivamente, de K, Ca, Mg, H + Al e Al, e 51% de saturação por bases (V%); 0,28; 11,9; 43,5; 16,5; 1,2 mg dm⁻³ de B, Cu, Fe, Mn e Zinco, respectivamente. A densidade do solo pela metodologia do torrão parafinado foi de 1,39 e 1,41 g kg⁻¹ para as camadas de 0 a 15 cm e de 15 a 30 cm de profundidade, respectivamente. As análises citadas foram efetuadas quatro meses antes da instalação do experimento no campo. As coletas dos torrões foram realizadas com o auxílio de um enxadão e durante o procedimento procurou-se evitar a compactação do mesmo. As determinações das análises químicas e físicas, seguiram as metodologias de Raij et al. (2001) e EMBRAPA (1997).

O solo da área experimental é classificado como Nitossolo Vermelho distroférrico, textura argilosa (EMBRAPA, 2006).

Foi realizada a calagem do solo, manualmente na superfície do solo no primeiro e segundo ano, com dosagens de 1,6 e 1,9 Mg, respectivamente, aos 90 dias antes do plantio, utilizou-se calcário dolomítico, com PRNT de 90%, de modo elevar a 70% o índice de saturação por bases (V%) ao nível adequado à planta, além de neutralizar os efeitos nocivos do alumínio.

A cultivar utilizada foi a IAC - Alvorada do grupo carioca, com hábito de crescimento indeterminado tipo III e porte semi-prostado. A semeadura direta foi realizada, em 09 de abril de 2010 e 10 de maio de 2011, respectivamente, no espaçamento de 0,45 entre linhas e com 13 sementes por metro, de modo a obter uma densidade final de 200.000 a 240.000 plantas ha⁻¹. Utilizou-se semeadora-adubadora, modelo exacta air JM 2980 PD Jumil. A adubação de plantio foi baseada na análise química do solo, sendo adicionados 321 e 145 kg ha⁻¹ de adubo granulado na formulação 8-28-16+zinco e 70 kg de N aplicado em cobertura e dividido em duas aplicações, a fim de se obter uma produtividade de 2,5 a 3,5 Mg.

A parcela experimental constitui-se de uma área total de 7,2 m² (4 m x 1,8 m), com quatro linhas de feijão.

O espaçamento entre blocos foi de 2 m e entre as parcelas, de 1,5 m. Para efeito de avaliação, as linhas externas de cada parcela foram consideradas como bordadura, além das duas extremidades de cada parcela, totalizando 1 m.

A diferenciação dos tratamentos, quanto à irrigação, teve início ao nono dia após a semeadura, conforme os tratamentos. Anteriormente foram feitas irrigações em todo o experimento, utilizando-se o sistema de aspersão convencional. A primeira fase (I) teve início quando a planta encontrava-se no estágio V₂ (22 DAE) ao florescimento (40 DAE). A

segunda fase teve início no florescimento (40 DAE) indo até a maturação fisiológica dos grãos (60 DAE).

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados, com quatro repetições em esquema fatorial 4 x 4. Os fatores utilizados foram 4 níveis de déficit hídrico (100%, 80%, 60% e 40% da evapotranspiração da cultura) aplicados em duas fases durante o ciclo (Vegetativa - I, Reprodutiva -II). Os mesmos níveis na fase I, foram repetidos na fase II. Para compor os tratamentos, variou-se a lâmina de irrigação e o período de aplicação.

O sistema de irrigação adotado foi o de gotejamento, utilizando-se mangueiras gotejadoras com espessura da parede de 625 micra, possuindo um gotejador labirinto tipo plano, espaçados de 20 cm entre si, com vazão de 7,5 L/h/m na pressão de 100 kPa e expoente da equação de vazão do emissor (x) igual a 0,461. As linhas laterais de irrigação foram distribuídas no espaçamento de 0,45 m, entre as linhas do feijoeiro, as quais formavam uma faixa contínua molhada na área útil da parcela.

A capacidade de armazenamento de água do solo foi de 19,8 mm, para uma profundidade efetiva de solo de 30 cm. Sendo necessárias 1,15 horas de irrigação para atingir a capacidade de campo, com uma eficiência do sistema de 90%.

O manejo das irrigações foi baseado no cálculo da evapotranspiração de referência (Eto) a partir de dados de evaporação do tanque Classe A, situado na Estação Agroclimatologia da FCA-UNESP, a cerca de 150 m de distância do local do experimento e corrigido pelo coeficiente de correção (Kp) conforme (Allen et al., 1998).

O tratamento T₁₆ foi mantido como referencial sem restrição de água, tanto na fase inicial quanto na fase reprodutiva. Com as combinações, os demais tratamentos tiveram redução da lâmina em umas das duas fases (I e II).

No campo, a lâmina de água aplicada em cada parcela foi controlada em função do tempo, de acordo com a vazão dos emissores, utilizando-se registros e cronômetro. Diariamente determinou-se o tempo de irrigação para a parcela referência, e, posteriormente, às lâminas com as reduções de 80%, 60% e 20% referentes às fases I e II.

O florescimento pleno da cultura ocorreu 41 DAE e o ciclo teve a duração de 107 dias para o T₁₆, com redução para os demais tratamentos avaliados comparativamente.

Uma amostra foi obtida de cada parcela, tendo como objetivo, obter o teor nutricional de macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S) e micronutrientes (B, Cu, Fe, Mn e Zn) após a colheita. Os grãos em cada parcela foram secos em estufa com circulação forçada de ar a 60-70 °C, até atingir massa constante, e, em seguida, foram moídos e submetidos à análise, conforme metodologia de Malavolta et al. (1997).

Foi realizada análise de variância com aplicação do teste de Tukey ao nível de 5% de significância pelo programa Sisvar 5.0.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As lâminas de irrigação aplicadas, somando-se as precipitações pluviométricas efetivas que ocorreram durante o ciclo do feijoeiro nas fases I e II, corresponderam a um valor total de 191,22 mm e 217,99 mm no primeiro e segundo ano, respectivamente. Verificou-se que as lâminas aplicadas nas fases I e II foram maiores no ano agrícola de 2011, em comparação ao ano de 2010. As lâminas aplicadas em cada fase, em cada tratamento, estão descritos na Tabela 1.

Tabela 1. Lâminas de irrigação em mm, da emergência ao pleno florescimento - I, e do florescimento a maturação - II, e a lâmina total (Irrigação e Precipitação pluvial), para o ano de 2010 e 2011.

Lâmina em (mm) nas fases I, II; e I + II + precipitação efetiva (Pe).								
Fases	I	II	I + II	I + II + P	I	II	I + II	I + II + P
Trat.	2010				2011			
T1	26,42	44,31	70,73	85,11	32,02	49,24	81,23	96,06
T2	26,42	66,47	92,89	107,27	32,02	73,86	105,88	120,71
T3	26,42	88,63	115,05	129,43	32,02	98,40	130,42	145,25
T4	26,42	110,79	137,21	151,59	32,02	123,10	155,12	169,95
T5	39,63	44,31	83,94	98,32	48,08	49,24	97,32	112,15
T6	39,63	66,47	106,10	120,48	48,08	73,86	121,94	136,77
T7	39,63	88,63	128,26	142,64	48,08	98,40	146,48	161,31
T8	39,63	110,79	150,42	164,80	48,08	123,10	171,18	186,01
T9	52,84	44,31	97,15	111,53	64,05	49,24	113,29	128,12
T10	52,84	66,47	119,31	133,69	64,05	73,86	137,91	152,74
T11	52,84	88,63	141,47	155,85	64,05	98,40	162,45	177,28
T12	52,84	110,79	163,63	178,01	64,05	123,10	187,15	201,98
T13	66,05	44,31	110,36	124,74	80,06	49,24	129,30	144,13
T14	66,05	66,47	132,52	146,90	80,06	73,86	153,92	168,75
T15	66,05	88,63	154,68	169,06	80,06	90,40	170,46	185,29
T16	66,05	110,79	176,84	191,22	80,06	123,10	203,16	217,99

Nota: *Pe -Precipitação pluvial efetiva (2010 = 14,38 e 2011= 14,83)

A precipitação pluviométrica efetiva durante as fases I e II do ano de 2010 correspondem a 5,26 mm e 9,12 mm, respectivamente, totalizando 14,38 mm. Em 2011, a precipitação efetiva foi de 5,19 mm e 9,64 mm nas fases I e II, respectivamente, totalizando 14,83 mm. As precipitações pluviométricas no primeiro experimento ocorreram durante a fase vegetativa e final de floração. Já no segundo experimento, as precipitações pluviométricas se concentraram, principalmente, no início do terceiro trifólio da fase vegetativa e final do enchimento de grãos.

A temperatura média mensal para os meses de abril, maio, junho e julho de 2010 foram de 23,31; 18,74; 19,01 e 19,89 °C respectivamente e de 16,78; 15,89; 18,39; 18,94 e 13,75 °C para os meses de maio, junho, julho, agosto e setembro, respectivamente no ano de 2011.

No primeiro ano, a temperatura mínima não foi inferior a 15 °C nas fases I e II. De maneira geral, os valores ficaram dentro da faixa recomendada por Silva & Ribeiro (2009), os quais indicam como valores ideais da temperatura do ar mínima, média e máxima, 12°C, 21°C e 29°C, respectivamente.

No segundo ano, a temperatura mínima chegou a ficar abaixo de 15°C durante o florescimento e o enchimento de grãos, interferindo no ciclo da cultura. Em consequência da baixa temperatura, os tratamentos com redução da lâmina de 40%, 60% e 80% na fase II, apresentaram menor ciclo em relação ao tratamento que foi mantido sem restrição hídrica.

Na Tabela 2, encontra-se um resumo da análise de variância, para os teores nutricionais de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, enxofre, boro, cobre e ferro no primeiro e segundo experimentos. A interação tratamentos x lâminas de irrigação apresentou significância para enxofre e ferro para o primeiro e segundo anos. A interação tratamentos x

lâminas de irrigação não apresentou significância para nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, boro e cobre.

Tabela 2. Valores de F e nível de significância obtido na análise de variância na cultura do feijoeiro submetida a diferentes combinações de lâminas aplicada.

Fonte de variação	A	B	AxB	trat/test	anos	CV (%)
Nitrogênio						
2010	0,49 ^{ns}	2,58 ^{ns}	0,68 ^{ns}	1,82*	53,96*	9,68
2011	1,75 ^{ns}	1,16 ^{ns}	0,81 ^{ns}	1,13*		8,43
Fósforo						
2010	2,00 ^{ns}	3,18*	0,57 ^{ns}	1,82*	81,29*	8,57
2011	6,62*	0,69 ^{ns}	1,37 ^{ns}	1,49*		9,11
Potássio						
2010	1,78 ^{ns}	0,81 ^{ns}	0,83 ^{ns}	0,92*	365,42*	11,3
2011	0,28 ^{ns}	1,41 ^{ns}	0,82 ^{ns}	0,76*		10,83
Cálcio						
2010	0,20 ^{ns}	1,83 ^{ns}	1,73 ^{ns}	1,01*	10,19*	11,66
2011	0,28 ^{ns}	1,50 ^{ns}	1,40 ^{ns}	0,81*		15,71
Magnésio						
2010	0,51 ^{ns}	5,52*	1,58 ^{ns}	1,95 ^{ns}	249,15*	7,68
2011	0,51 ^{ns}	1,29 ^{ns}	1,11 ^{ns}	4,12 ^{ns}		12,18
Enxofre						
2010	15,38*	4,55*	4,26*	6,23 ^{ns}	80,35*	20,00
2011	8,99*	0,60 ^{ns}	1,53 ^{ns}	1,45*		23,42
Boro						
2010	0,23 ^{ns}	1,30 ^{ns}	0,93 ^{ns}	0,32*	0,03 ^{ns}	14,64
2011	4,26*	0,18 ^{ns}	3,14 ^{ns}	2,87 ^{ns}		5,25
Cobre						
2010	0,95 ^{ns}		1,05 ^{ns}	1,18*	2,63 ^{ns}	12,9
2011	0,35 ^{ns}	1,19 ^{ns}	0,54 ^{ns}	0,39*		24,72
Ferro						
2010	15,40*	15,98*	8,95*	16,67 ^{ns}	265,85*	9,1
2011	2,74*	3,23*	2,57*	2,03*		23,42

Nota: * e ns são, respectivamente, significativo a 5% e não significativo, pelo teste de F. A letra a corresponde ao fator da primeira fase e b o fator da segunda fase. Assim a1, corresponde a 40%; a2 60%; a3 80 e a4 100%. e b1 corresponde: 40%; b2 60%; b3 80% e b4 100% respectivamente.

Os teores de ferro nos grãos variaram entre 341 a 611 e 156 a 257 mg kg⁻¹ no primeiro e segundo anos de cultivo, respectivamente (Tabela 3). Estes resultados foram superiores aos teores médios obtidos em grãos de feijão comerciais (88 e de 100 mg kg⁻¹) para o primeiro e segundo anos, respectivamente (Pereira et al., 2011). Estes autores verificaram que a cultivar BRS - Valente apresentou médias de 88,0 e 132,0 para o primeiro ano e segundo anos, respectivamente, sendo que essas médias diferiram entre anos, enquanto as médias das demais cultivares comerciais IPR - 88 Uirapuru, Pérola, IAPAR 81 e BAF 110 “Guará” não foram significativas entre anos.

Tabela 3. Teor de ferro em grãos, nas diferentes combinações de lâminas de irrigação no ciclo da cultura.

2010		Ferro (mg.kg ⁻¹)			
Fases (a*b)		Fase - II			
	(%)	40	60	80	100
Fase - I	40	251,50 aA	206,50 aB	237,00 aAB	191,50 B
	60	251,25 aA	157,75 cB	190,50 bB	186,00 B
	80	176,75 bB	167,25 cbB	204,75 aA	257,00 AB
	100	197,50 bB	196,25 baB	238,50 aA	196,00 B
2011		Ferro (mg.kg ⁻¹)			
Fases (a*b)		Fase - II			
	(%)	40	60	80	100
Fase - I	40	377,25 B	607,00 Aa	417,50 AB	453,50 ABab
	60	390,50 C	598,25 BAa	403,75 CB	611,25 Aa
	80	341,25	394,50 b	422,50	463,00 ab
	100	449,75	348,00 b	470,50	411,75 b

Nota: Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas na vertical não diferem entre si; médias seguidas pelas letras maiúsculas na horizontal não diferem entre si.

Os teores de enxofre nos grãos, para o ano de 2010, não foram significativos para as fases I e II. No segundo ano de cultivo, variaram entre 1,8 a 2,4 g kg⁻¹ para fase I e não diferiram na segunda fase, conforme apresentado na (Tabela 4). Estes resultados foram semelhantes aos obtidos por Buratto (2012) em cultivares de feijão comum, com valores médios de 2,6 g kg⁻¹ referente à safra de 2009, em Ponta Grossa, Paraná.

Tabela 4. Teor de enxofre em grãos, nas diferentes combinações de lâminas de irrigação no ciclo da cultura.

2010		Enxofre (g kg ⁻¹)			
Fases (a*b)		Fase - II (florescimento a maturação fisiológica)			
	(%)	40	60	80	100
Fase - I	40	1,9 c	2,0	2,0 b	1,9 b
	60	1,8 cB	1,9 AB	2,1 abA	1,8 bAB
	80	2,2 bAB	2,0 B	2,3 aA	2,0 abB
	100	2,4 aA	2,1 B	2,0 bB	2,2 aAB

Nota: Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas na vertical não diferem entre si; médias seguidas pelas letras maiúsculas na horizontal não diferem entre si.

Os resultados obtidos mostram que a deficiência hídrica, ocorrida durante a fase II, teve influência na redução do teor de nitrogênio e magnésio, pois a menor lâmina aplicada durante essa fase resultou em menores médias para os teores de nitrogênio e magnésio (Tabela 5).

Os teores de nitrogênio nos grãos, no segundo ano de cultivo, foram influenciados pelas variações das lâminas na fase II, onde as médias foram de 29,8 a 32,7 g kg⁻¹. Estes resultados foram inferiores aos obtidos por Pereira et al. (2011), que verificaram média de 44,6 e 35,0 g kg⁻¹, para o primeiro e segundo anos, respectivamente, para a cultivar comercial Pérola.

Os teores de magnésio nos grãos variaram entre 3,8 a 4,2 g kg⁻¹ no segundo ano de cultivo, para as fases I e II, respectivamente. Estes resultados foram superiores aos obtidos por Pereira et al. (2011), que verificaram média de 2,00 e 1,07g kg⁻¹, para o primeiro e segundo anos, respectivamente, para a cultivar comercial Pérola.

Tabela 5. Teores de magnésio e proteína total em grãos, nas diferentes combinações de lâminas de irrigação durante o ciclo do feijoeiro referente ao ano 2010.

Lâmina (mm)	Nitrogênio (g kg ⁻¹)	Magnésio (g kg ⁻¹)
ano	2010	2010
Fase - I (emergência ao pleno florescimento)		
40%	31,4	4,0
60%	30,7	3,9
80%	32,0	4,0
100%	31,3	4,0
Fase - II (florescimento a maturação fisiológica)		
40%	31,1 ab	3,9 ab
60%	29,8 b	3,8 b
80%	31,8 ab	4,1 a
100%	32,7 a	4,2 a

Nota: Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas na vertical não diferem entre si; médias seguidas pelas letras maiúsculas na horizontal não diferem entre si.

Os resultados obtidos mostram que a deficiência hídrica ocorrida durante a fase I, teve influência na redução do teor de fósforo, pois o menor volume de água aplicada durante essa fase (maior a deficiência hídrica) gerou menores médias nos teores de fósforo. Os teores médios de fósforo na segunda fase não diferiram entre os tratamentos avaliados (Tabela 6).

Tabela 6. Teor de fósforo e boro em grãos, nas diferentes combinações de lâminas de irrigação durante o ciclo do feijoeiro referente ao ano de 2011.

Lâmina (mm)	Fósforo (g kg ⁻¹)	Boro (mg kg ⁻¹)
ano	2011	2011
Fase - I (emergência ao pleno florescimento)		
40%	3,2 c	36,4 ab
60%	3,3 bc	35,9 b
80%	3,6 a	37,7 ab
100%	3,4 ab	37,9 a
Fase - II (florescimento a maturação fisiológica)		
40%	3,3	36,7
60%	3,3	37,6
80%	3,4	36,9
100%	3,4	36,7

Nota: Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas na vertical não diferem entre si; médias seguidas pelas letras maiúsculas na horizontal não diferem entre si.

Os teores de fósforo nos grãos variaram entre 3,2 a 3,6 g kg⁻¹ no segundo ano de cultivo, para as fases I e II, respectivamente. Estes resultados foram superiores aos teores

médios obtidos em grãos de feijão (5,31 e 4,46 mg kg⁻¹) para o primeiro e segundo anos de cultivo, respectivamente, para o cultivar comercial Pérola (Pereira et al., 2011). Estes autores verificaram que a cultivar Uirapuru não diferiu entre o primeiro e segundo anos de cultivo, com valores de 4,17 e 4,41 g kg⁻¹.

Os teores de boro nos grãos variaram entre 35,9 a 37,9 mg kg⁻¹ no segundo ano de cultivo. Estes resultados foram superiores aos obtidos por Ribeiro et al. (2008) em cultivares de feijão de cores com valores médios de 8,27 mg kg⁻¹ observados em dois ambientes.

Thung e Oliveira (1998) mencionam que as plantas e as sementes do feijoeiro obtidas com diferentes práticas culturais diferem no teor de nutrientes.

As médias dos teores dos macronutrientes (nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e ferro) no segundo ciclo, diferiram entre os dois anos de cultivo. A diferença entre o teor de nitrogênio, kg ha⁻¹ para o primeiro e segundo ciclos, foi significativa para os tratamentos T₁, T₂, T₅, T₆, T₇, T₉, T₁₀, T₁₁, T₁₄, com valores de (30,08 e 35,19; 30,01 e 36,45; 29,14 e 35,88; 33,50 e 34,76; 33,95 e 34,65; 32,69 e 35,82; 32,39 e 37,40; 30,08 e 36,03 g kg⁻¹ para o ano de 2010 e 2011, respectivamente. Com teores superiores de nitrogênio no segundo ciclo em relação ao primeiro. Enquanto que nos demais tratamentos não houve diferença. Os teores de fósforo, potássio, cálcio, magnésio e ferro foram significativos entre os anos de cultivo, sendo as médias superiores para o segundo ciclo em relação ao primeiro ano. A diferença entre o teor de Cálcio, g kg⁻¹ para o primeiro e segundo ciclos, foi significativa para os tratamentos T₂, T₇, T₁₀, T₁₁, T₁₆, com valores de (11,00 e 14,05; 12,75 e 14,10; 12,25 e 14,43; 13,00 e 16,70; 11,00 e 14,53) g kg⁻¹ para o ano de 2010 e 2011, respectivamente. Enquanto que nos demais tratamentos não houve diferença. Com teores superiores de Cálcio no segundo ciclo, em relação ao primeiro. A diferença entre o teor de Boro, mg kg⁻¹ para o primeiro e segundo ciclos, foi significativa para os tratamentos T₁₅, com valores de (32,75 e 39,92) para o ano de 2010 e 2011, respectivamente. Enquanto que nos demais tratamentos não houve diferença. A diferença entre o teor de Cobre, mg kg⁻¹ para o primeiro e segundo ciclos, foi significativa para os tratamentos T₆, T₁₅, T₁₆, com valores de (10,00 e 15,00; 10,75 e 14,50; 10,25 e 14,75) para o ano de 2010 e 2011, respectivamente. Enquanto que nos demais tratamentos não houve diferença. Uma das explicações desses maiores valores dos teores fósforo, potássio, cálcio, magnésio e ferro, está relacionado à melhoria das características químicas do solo no segundo ano em relação ao primeiro ano.

Pereira et al. (2011) obtiveram menores médias para os teores de macronutrientes e micronutrientes entre os dois ciclos. Estes autores mencionam que as variações são devidas às diferentes condições climáticas durante os períodos de florescimento e formação de vagens. No segundo ano, durante o início da formação das vagens, observou-se alta precipitação e temperatura próxima aos 20 °C. No primeiro ano, a fase de florescimento coincidiu com déficit hídrico e maiores oscilações de temperatura.

Tanto o estresse hídrico quanto a alta temperatura durante o período de enchimento de grãos, podem ser a explicação para as variações na concentração de proteínas, tanto entre locais, como entre anos em um mesmo local (Rangel et al., 2007).

Na Tabela 7, encontra-se um resumo da análise de variância para o acúmulo dos teores nutricionais de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, enxofre, boro e cobre para o segundo ciclo.

Tabela 7. Valores de F e nível de significância obtido na análise de variância submetida a diferentes combinações de lâminas no acúmulo de nutrientes em grãos de feijão no ano de 2011.

Fonte de variação	A	B	AxB	CV (%)
Nitrogênio	1,16 ^{ns}	9,74*	1,24 ^{ns}	15,01
Fósforo	4,54*	9,66*	0,74 ^{ns}	15,27
Potássio	1,01 ^{ns}	7,50*	0,79 ^{ns}	15,24
Cálcio	0,72 ^{ns}	8,43*	1,10 ^{ns}	21,13
Enxofre	3,36*	6,33*	1,66 ^{ns}	16,29
Boro	1,58 ^{ns} *	11,61*	0,84 ^{ns}	14,33
Cobre	1,40 ^{ns}	6,17*	0,99 ^{ns}	26,67

Nota: * e ns são, respectivamente, significativo a 5% e não significativo, pelo teste de F.

A quantidade de nitrogênio acumulado em grãos variou com as diferentes lâminas de irrigação para a fase II, no entanto, não foi significativa para a fase I. O acúmulo de nitrogênio nos grãos variou entre 86,15 a 113,34 kg ha⁻¹ para o segundo ano de cultivo (Tabela 8). Estes resultados foram semelhantes aos obtidos por Ciancio (2010), com média de 80,37 kg ha⁻¹ para o tratamento com adubação recomendada pela CQFS RS/SC (2004), sendo estes similares aos resultados obtidos por Pessoa et al. (1996) com médias de 33,4 e 103,3 kg ha⁻¹ para o tratamento não irrigado e irrigado, respectivamente, uma vez que os autores verificaram diferenças entre as condições estudadas. Entretanto, Ramos Júnior (2006) trabalhando com doses de fósforo em cultivares de feijão carioca precoce, observou que o acúmulo de nitrogênio foi de 31,4 kg ha⁻¹, em Botucatu, SP.

A quantidade de potássio acumulado em grãos variou com as diferentes lâminas de irrigação na fase II, não sendo significativa para a fase I (Tabela 8). O acúmulo de potássio nos grãos variou entre 92,95 a 118,61 kg ha⁻¹ no segundo ano de cultivo. Entretanto, estes resultados foram superiores aos obtidos por Ciancio (2010), com média de 77,89 kg ha⁻¹ para o tratamento com adubação recomendada pela CQFS RS/SC (2004), e, aos resultados obtidos por Pessoa et al. (1996) com médias de 7,5 e 30,4 kg ha⁻¹, para o tratamento não irrigado e irrigado, respectivamente, com diferenças entre as condições estudadas.

Tabela 8. Acúmulo dos macronutrientes nitrogênio, potássio, cálcio, fósforo e enxofre (kg ha⁻¹), extraídos em grãos de feijão IAC-Alvorada, segundo ciclo.

Lâmina (mm)	Nitrogênio	Potássio	Cálcio kg ha ⁻¹	Fósforo	Enxofre
Ano	2011				
Fase - I (emergência ao pleno florescimento)					
40%	99,53	103,41	39,06	8,85 b	7,63 b
60%	101,37	112,49	42,30	9,71 ab	8,33 ab
80%	107,70	110,80	43,26	10,70 a	8,63 ab
100%	107,58	111,75	42,63	10,39 a	9,14 a
Fase - II (florescimento a maturação fisiológica)					
40%	86,15 b	92,95 b	32,69 b	8,19 b	7,15 b
60%	107,33 a	111,82 a	42,10 a	10,05 a	8,69 a
80%	109,37 a	118,61 a	45,52 a	10,58 a	8,84 a
100%	113,34 a	115,61 a	46,95 a	10,76 a	9,04 a

Nota: Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas na vertical não diferem entre si; médias seguidas pelas letras maiúsculas na horizontal não diferem entre si.

A quantidade de cálcio acumulado em grãos variou com as diferentes lâminas de irrigação na fase II e não foi significativa para a fase I (Tabela 8). O acúmulo de cálcio nos grãos variou entre 32,69 a 46,95 kg ha⁻¹ no segundo ano de cultivo. Estes resultados foram inferiores aos obtidos por Ciancio (2010), com média de 56,62 kg ha⁻¹ para o tratamento com adubação recomendada pela CQFS RS/SC (2004).

A quantidade de fósforo acumulado em grãos variou com as diferentes lâminas de irrigação nas fases I e II (Tabela 8). O acúmulo de fósforo nos grãos variou entre 8,19 a 10,76 kg ha⁻¹ no segundo ano de cultivo. Estes resultados foram semelhantes aos obtidos por Ciancio (2010), com médias de 11,89 e 10,32 kg ha⁻¹ para o tratamento com adubação recomendada pela CQFS RS/SC (2004) e, controle, respectivamente. No feijão comum, o valor de P acumulado foi de 10 kg ha⁻¹ em solo de várzea (FAGERIA; SANTOS, 1998). Entretanto, estes resultados foram inferiores aos obtidos por Pessoa et al. (1996), com médias de 8,0 e 18,8 kg ha⁻¹ para o tratamento não irrigado e irrigado, respectivamente. Ramos Júnior (2006) trabalhando com doses de fósforo em cultivares de feijão carioca precoce, observou que o acúmulo de fósforo foi de 3,17 kg ha⁻¹, em Botucatu, SP.

A quantidade de enxofre acumulado em grãos variou com as diferentes lâminas de irrigação nas fases I e II. O acúmulo de enxofre nos grãos variou entre 7,15 a 9,14 kg ha⁻¹ no segundo ano de cultivo. Estes resultados foram semelhantes aos obtidos por Ciancio (2010), com médias de 11,89 e 10,32 kg ha⁻¹ para o tratamento com adubação recomendada pela CQFS RS/SC (2004) e, controle, respectivamente. Ramos Júnior (2006), trabalhando com doses de fósforo em cultivares de feijão carioca precoce, observou um acúmulo de enxofre de 3,17 kg ha⁻¹, em Botucatu, SP.

Tabela 9. Acúmulo de micronutrientes, boro e cobre (g ha⁻¹), extraídos em grãos de feijão IAC-Alvorada.

Lâmina (mm)	Boro (g ha ⁻¹)	Cobre (g ha ⁻¹)
ano	2011	2011
Fase - I (emergência ao pleno)		
40%	106	35
60%	113	40
80%	118	41
100%	116	43
Fase - II (florescimento a		
40%	94 b	30 b
60%	113 a	40 ab
80%	122 a	42 a
100%	125 a	46 a

Nota: Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas na vertical não diferem entre si; médias seguidas pelas letras maiúsculas na horizontal não diferem entre si.

A quantidade de boro e cobre acumulado em grãos variou com as diferentes lâminas de irrigação nas fases I e II. O acúmulo de boro e cobre nos grãos variou entre 94 a 125 g ha⁻¹ e de 30 a 46 g ha⁻¹ no segundo ano de cultivo, respectivamente (Tabela 9). Observa-se que o efeito das lâminas aplicadas na fase I não interfere no acúmulo de boro e cobre, mas foram

significativos na fase II, mostrando que as maiores lâminas aplicadas durante a fase II, resultaram em maiores médias dos mesmos conforme apresentado na Tabela 9.

5 CONCLUSÕES

Houve alterações nos teores de macro e micronutrientes com as diferentes lâminas aplicadas;
A interação entre as lâminas nas fases I e II influenciou nos teores de micronutrientes Fe e S em grãos de feijão;

Houve aumento dos teores de Fe e diminuição dos teores de Cu, Mn e B com a deficiência hídrica em uma das fases;

Os macro e micronutrientes mais extraídos foram N, P, K, Fe, B e Mn;

O N e o P são os nutrientes exportados em maior quantidade pelos grãos.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLEN, R. G.; PEREIRA L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration – Guidelines for computing crop water requerimentos**. Rome FAO, 1998. 301 p. (FAO Irrigation and Drainage, 56).

ARAÚJO, R. S.; RAVA, C. A.; STONE, L. F.; ZIMMERMANN, M. J. O. **Cultura do feijoeiro comum no Brasil**. Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, Piracicaba, Brasil; 1996. 786p.

BARBOSA, F. R.; GONZAGA, A. C. O. **Informações técnicas para o cultivo do feijoeiro-comum na região central brasileira: 2012-2014**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2012. 248 p. (Documentos).

BORÉN, A.; CARNEIRO, J. E. S. A cultura In: VIEIRA, C.; PAULA JUNIOR, T. J.; BORÉN, A. (Eds.). **Feijão 2ª edição atualizada e ampliada**. Viçosa: UFV, 2008. p. 13 - 18.
BURATTO, J. S. **Teores de minerais e proteínas em grãos de feijão e estimativas de parâmetros genéticos**. 2012. 148 f. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2012.

CEPAGRI. CENTRO DE PESQUISAS METEOROLÓGICAS E CLIMÁTICAS APLICADAS A AGRICULTURA. **Clima dos municípios paulistas**. Disponível em: <<http://www.cpa.unicamp.br>>. Acesso em: 13 de novembro de 2010.

CIANCIO, N. H. R. **Produção de grãos, matéria seca e acúmulo de nutrientes em culturas submetidas à adubação orgânica e mineral**. 2006. 134 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Maria, 2010.

COETZER, L. A. et al. The effect of boron on reproduction in tomato (*Lycopersicon esculentum*) and bean (*Phaseolus vulgaris*). **Plant Grond**, Tydeskr, v.7, n.4, p.212- 217, 1990.

EMBRAPA Centro Nacional de Pesquisa de Solo. **Manual de métodos de análise de solo**. 2 ed., Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1997, 212 p.

EMBRAPA. Centro Nacional. Pesquisa em solos. **Sistema brasileiro de classificação de Solos**. Brasília: Embrapa-SPI; Rio de Janeiro: Embrapa solos, 2006. 306p.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2.ed. Piracicaba: Potafos, 1997. 319p.

PASTORINI, L. H. et al. Crescimento inicial de feijoeiro submetido a diferentes doses de fósforo em solução nutritiva. **Revista Ceres**, Viçosa, MG, v. 47, n. 270, p. 219-228, 2000.

PEREIRA, T. et al. Diversidade no teor de nutrientes em grãos de feijão crioulo no Estado de Santa Catarina. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v.33, n. 3, p. 477-485, 2011.

PESSOA, A. C. S dos et al. Concentração e acumulação de nitrogênio, fósforo e potássio pelo feijoeiro cultivado sob diferentes níveis de irrigação. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.26, n.1, p. 69-74, 1996.

RAIJ, B. van. et al. **Análise química da fertilidade dos solos tropicais**. Campinas: IAC, 2001, 285 p.

RAMOS JUNIOR, E. D. **Níveis de fósforo e épocas de aplicação de sementeira na extração de nutrientes do cultivar de feijão carioca**. 2006. 134 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Agricultura)-Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2006.

RANGEL, M.A.S. et al. Efeitos da interação genótipos x ambientes no rendimento de grãos e nos teores de proteína de cultivares de soja. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 29, n. 3, p. 351 - 354, 2007.

RIBEIRO, N. D. et al. Composição de microminerais em cultivares de feijão e aplicações para o melhoramento genético. **Bragantia**, v. 67, n. 2, 267-273, 2008.

RIOS, O. A. et al. Efeito da estocagem e das condições de colheita sobre algumas propriedades físicas, químicas e nutricionais de três cultivares de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 23, p. 34-45, 2003.

SILVA, M. G. et al. Rendimento do feijoeiro irrigado cultivado no inverno em sucessão de culturas, sob diferentes preparos do solo. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 28, n.3, p. 433-439, 2006.

SILVA.C. da.; RIBEIRO. J. R. **Zoneamento agroclimático para o feijão (2ª safra) nos Estado de Goiás, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais e Bahia**. In: KLUTHCOUSKI. J.; STONE. L.F.; AIDAR. H (Org.). Fundamentos para uma agricultura sustentável, com ênfase na cultura do feijoeiro. Santo Antônio de Goiás. EMBRAPA, 2009. p. 97 - 104.

SILVEIRA, P. M. da; BRAZ, A. J. B. P.; DIDONET, A. D. Uso do clorofilômetro como indicador da necessidade de adubação nitrogenada em cobertura no feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, n. 9, p. 1083-1087, 2003

THUNG, M. D. T.; OLIVEIRA, I. P. de. **Problemas abióticos que afetam a produção do feijoeiro e seus métodos de controle**. Santo Antônio de Goiás: EMBRAPA CNPAF, 1998. 172 p.