



Parcelamento do fertilizante fosfatado no algodoeiro em sistema de cultivo irrigado e de sequeiro¹

Leonardo A. Aquino², Paulo G. Berger³, Rubens A. Oliveira³, Júlio C. L. Neves³,
Trícia C. Lima³ & Carlos H. Batista⁴

RESUMO

Objetivou-se, com este trabalho, avaliar a aplicação parcelada de doses de fósforo na cultura do algodão nos sistemas de cultivo sob irrigação e de sequeiro, visando à maior eficiência da adubação fosfatada em comparação com a aplicação tradicional, apenas em semeadura. O experimento foi conduzido em Neossolo Quartzarênico, na região Norte de Minas Gerais. Adotou-se o delineamento blocos ao acaso, com três repetições. Os tratamentos consistiram das doses 50 e 120 kg ha⁻¹ de P₂O₅ aplicadas parceladamente de quatro formas: PS, P1, P2 e P3 [100/0; 75/25; 50/50 e 25/75% da dose do fertilizante fosfatado aplicado, respectivamente, na semeadura e aos 35 dias após a emergência (DAE)], nos cultivos de sequeiro e irrigado. Dois tratamentos adicionais, sem P, nos cultivos sem e com irrigação, completaram os dezoito tratamentos estudados. O aumento das doses de P incrementou a massa da parte aérea seca e o número de estruturas reprodutivas aos 80 DAE, a eficiência relativa da adubação fosfatada e a produtividade de algodão em caroço. A resposta às doses de P ocorreu apenas sob irrigação. A aplicação parcelada do fertilizante fosfatado não aumentou a eficiência da adubação na cultura do algodão em Neossolo Quartzarênico.

Palavras-chave: Neossolo quartzarênico, eficiência, *Gossypium hirsutum* L.

Parceling of phosphorus fertilizer in the cotton crop under irrigated and rainfed systems of cultivation

ABSTRACT

The objective was to evaluate the application of phosphorus doses in parcels in the cotton crop in the systems of cultivation under irrigation and rainfed, being aimed the higher efficiency of phosphate fertilization, in comparison to the traditional application, only at sowing. The experiment was carried out in Quartzanic Neosol, in the North region of Minas Gerais. The adopted design was randomized blocks, with three replicates. The treatments were the doses of 50 and 120 kg ha⁻¹ of P₂O₅ applied in four ways: PS, P1, P2 and P3 [100/0; 75/25; 50/50; 25/75% of the dose of phosphate fertilizer applied, respectively at the sowing and at 35 days after the emergence (DAE)], in the irrigated and rainfed crops. Two additional treatments, without P, in the crop without and with irrigation, completed the eighteen studied treatments. The increase of the P doses increased the dry mass of aerial part and the number of reproductive structures at 80 DAE, the relative efficiency of the phosphate fertilization and the productivity of cotton in boll. The response to P doses occurred only under irrigation. The parceled application of the phosphate fertilizer did not increase the efficiency of the fertilization in the cotton farm in Quartzanic Neosol.

Key words: quartzanic Neosol, efficiency, *Gossypium hirsutum* L.

¹ Parte da Tese de Doutorado do primeiro autor, apresentada à Universidade Federal de Viçosa - UFV

² UFV - Campus Rio Paranaíba. Rodovia BR 354, km 310, CEP 38810-000, Rio Paranaíba, MG. Fone: (34) 3855-9000. E-mail: leonardo.aquino@ufv.br

³ Departamento de Fitotecnia/UFV. CEP 36570-000, Viçosa, MG. Fone: (31) 3899-1165; 3899-1909. E-mail: pgberger@ufv.br; rubens@ufv.br; julio_n2003@yahoo.com.br; tclima@hotmail.com

⁴ Instituto Federal do Norte de Minas Gerais, Campus Januária. Fazenda São Geraldo, s/n, Bom Jardim, CEP 39480-000, Januária, MG. Fone: (38) 3621-1100. E-mail: carlosbatista.agro@yahoo.com.br

INTRODUÇÃO

A pobreza química dos solos do cerrado onde o algodoeiro é cultivado em maior escala, especialmente a de fósforo, pode comprometer o sucesso da atividade caso medidas adequadas de correção da carência deste elemento não sejam tomadas. O fósforo no solo torna-se indisponível pela rápida formação de complexos insolúveis com cátions, especialmente alumínio e ferro em condições ácidas (Vance et al., 2003; Bastos et al., 2008).

A formação de P não-lábil a partir do P lábil é muito rápida e de reversibilidade pequena ou inexistente no curto prazo (Novais & Smyth, 1999; Broggi et al., 2010). Gonçalves et al. (1985) aplicaram 50 mg kg⁻¹ de P em solos de diferentes classes e texturas, pobres em P e demonstraram que após 192 h de contato do P com o solo mais de 90% do P aplicado foram adsorvidos.

Em algodão a aplicação da dose de 726 kg ha⁻¹ de P₂O₅ parcelada ao longo de seis anos no sulco de semeadura ou nos primeiro e quarto anos a lanço, proporcionou maior produtividade e efeitos positivos na qualidade da fibra quando comparada com a aplicação a lanço em dose única, no primeiro ano (Silva et al., 1990). O parcelamento favoreceu a produtividade do algodoeiro e o efeito residual, ao longo dos anos.

Na cultura do milho a aplicação parcelada no sulco de semeadura do superfosfato triplo, do termofosfato magnésiano, do fosfato natural de Arad e do fosfato natural de Araxá, aumentou a produtividade ao longo de três anos quando comparada com a aplicação em dose única no primeiro ano (Resende et al., 2006).

O algodoeiro é considerado planta tolerante à seca devido principalmente ao aprofundamento de seu sistema radicular, explorando água de camadas subsuperficiais no solo (Silva et al., 2009); entretanto, a planta responde bem à irrigação, especialmente em locais sujeitos a déficit hídrico (veranicos) em fases críticas, como a de florescimento e de desenvolvimento das maçãs.

Os resultados de pesquisa indicam que a água do solo exerce grande influência sobre a difusão de P, razão pela qual é importante o estudo, em conjunto, de doses de P e irrigação na cultura do algodão. Em seis solos com teor de argila de 50 a 570 g kg⁻¹, observou-se redução de vinte vezes na difusão de P

quando a água no solo diminuiu da condição de saturação para 75% da porosidade total (Miola et al., 2000).

Costa et al. (2006) verificaram interação entre as propriedades físico-químicas de solos com o fator capacidade de P estabelecido a partir das doses de P e do conteúdo volumétrico de água no solo. Os solos com maior fator capacidade de P foram mais restritivos à difusão do elemento, quando ocorreu redução da água no solo, especialmente nas menores doses de P.

No algodoeiro a demanda por P aumenta a partir do início da formação dos botões florais e permanece alta até o início da maturação. Desta forma, o parcelamento do P ao diminuir o tempo de contato da fonte fosfatada solúvel com o solo, pode contribuir para diminuir a quantidade de P aplicada propensa à fixação (Resende et al., 2006).

O parcelamento do P, se viável, como forma de reduzir a quantidade de P fixada, pode orientar diferentes estratégias de manejo em áreas sujeitas aos regimes de sequeiro, comparado com as cultivadas com irrigação; assim, maiores produtividades para uma mesma dose de P ou menores doses de P para as produtividades atualmente obtidas, podem ser alcançadas por meio do seu parcelamento.

Objetivou-se avaliar o efeito da aplicação parcelada (semeadura+cobertura) de doses de fósforo em cultivo irrigado ou de sequeiro sobre a matéria seca da parte aérea, o teor de nutrientes na folha e a produtividade do algodoeiro.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Norte de Minas Gerais – Campus Januária, localizado em Januária, MG. Utilizou-se a cultivar de algodão ‘Delta Opal’, em razão da sua representatividade em termos de área cultivada no Brasil. A semeadura foi realizada em 11/11/2008, com espaçamento de 80 cm, almejando-se uma população final de 100 mil plantas por hectare.

O preparo do solo constou de subsolagem, aração e duas gradagens. O solo da área experimental, de textura arenosa, é classificado como Neossolo Quartzarênico, cujos atributos químicos e físicos estão expressos na Tabela 1.

Tabela 1. Características químicas e físicas do solo da área experimental

Prof. (cm)	pH (H ₂ O, 1:2,5)	P ¹		K ¹		Ca ^{2+/2}		Mg ^{2+/2}		Al ^{3+/2}		H+Al ³	T
		mg dm ⁻³		mg dm ⁻³		cmol _c dm ⁻³		cmol _c dm ⁻³					
0-20	6,2	22,0	73	1,5	0,4	0,0	2,4	4,5					
20-40	6,1	15,9	50	1,0	0,1	0,0	1,0	2,2					
	S ⁴	B ⁵		Zn ¹		Mn ¹		Cu ¹		Fe ¹		P-rem ⁶	M.O. ⁷
		mg dm ⁻³		mg dm ⁻³		mg dm ⁻³		mg dm ⁻³		mg L ⁻¹			
0-20	5,6	0,26	4,6	70,9	0,3	13,2	50,2	0,5					
20-40	6,4	0,22	1,3	15,4	0,2	6,8	51,5	0,6					
		Areia grossa		Areia fina		Silte		Argila		Capacidade de campo ⁸		Ponto de murcha ⁸	
		dag kg ⁻¹		dag kg ⁻¹		dag kg ⁻¹		dag kg ⁻¹		kg kg ⁻¹		kg kg ⁻¹	
0-20	30	57	3	10	0,100	0,044							
20-40	26	56	4	14	0,094	0,040							

Extratores: (1) Mehlich – 1; (2) Ca²⁺, Mg²⁺ e K⁺, extrator KCl 1 mol L⁻¹. (3) Ca(OAc)₂ 0,5 mol L⁻¹, pH 7; (4) Fosfato monocálcico em ácido acético; (5) Água quente; (6) P rem = Fósforo remanescente; (7) Matéria Orgânica - método da oxidorredução; (8) -10 e -1500 kPa, respectivamente

O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso, num arranjo fatorial de duas doses de P_2O_5 (50 e 120 kg ha⁻¹ de P_2O_5) x quatro formas de aplicação parcelada PS, P1, P2 e P3 (100/0; 75/25; 50/50; 25/75% da dose do fertilizante fosfatado aplicada em semeadura e aos 35 DAE, respectivamente) x dois sistemas de cultivo (irrigado e sequeiro) e dois tratamentos adicionais (não aplicação do P no cultivo sequeiro e irrigado), perfazendo o total de 18 tratamentos, com três repetições.

Cada unidade experimental se constituiu de cinco linhas de 6 m cada uma; a área útil correspondeu às três linhas centrais, sem 50 cm das extremidades. A parcela do P em cobertura foi incorporada aos 35 DAE, em sulco de 10 cm de profundidade aberto a 20 cm da fileira de plantas e a fonte de P utilizada na semeadura e cobertura foi o superfosfato triplo granulado com 41% de P_2O_5 .

A recomendação de corretivo e adubações, exceto fosfatada, foi realizada de acordo com resultados de análise de solo seguindo-se as recomendações para a cultura, pelo Ferticalc Algodoeiro (Possamai, 2003). O Ferticalc é um sistema de recomendação de fertilizantes e corretivos por meio do balanço nutricional entre as quantidades de nutrientes requeridas pelos componentes vegetativos e reprodutivos e as quantidades disponibilizadas pelo solo.

Na semeadura foram aplicados N, K, Zn e B, nas doses de 12, 25, 2 e 1 kg ha⁻¹, respectivamente; em cobertura, 188 kg ha⁻¹ de N e 116 kg ha⁻¹ de K_2O , parcelados em três aplicações, aos 25, 35 e 45 dias após a emergência (DAE). Utilizaram-se uréia e sulfato de amônio como fontes de N, sendo supridos 60 e 40% da dose total de N com cada uma das fontes, respectivamente. A fonte de potássio foi o KCl. Foram aplicados, via foliar, 5 kg ha⁻¹ de Fertilis 38®, que contém 10% de N, 3% de Mg, 10% de S, 3% de B, 2% de Cu, Fe e Mn, 0,1% de Mo e 8% de Zn.

Realizou-se o manejo de plantas daninhas pela aplicação, em pré-emergência, dos herbicidas S-metolachlor + Trifluralin e, em pós-emergência, de Pyriithiobac Sodium e Fenaxiprop-ethyl e, em pós-emergência com jato dirigido, de flumioxazin + paraquat + S-metolachlor.

Aplicações de inseticidas (Tracer®, Endosulfan® e Decis®) foram realizadas nas dosagens recomendadas para a cultura, com vistas ao controle de insetos-praga. Foram realizadas também, duas aplicações de estrobirulinas e triazóis, para controle da mancha de Ramulária (Comet® e Folicur®).

Nas parcelas irrigadas utilizou-se o sistema de irrigação por gotejamento; instalou-se uma linha lateral por fileira de plantas, com gotejadores espaçados 50 cm e operando com vazão de 2,2 L h⁻¹; enfim, avaliou-se a uniformidade pelo Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC), a qual foi de 92%.

Os dados diários de temperatura (máxima, média e mínima), umidade relativa, velocidade do vento, radiação solar e precipitação pluvial, foram obtidos numa estação meteorológica automática localizada a 200 m da área experimental. Com os dados meteorológicos calculou-se a evapotranspiração de referência com a aplicação da equação de Penman – Monteith. A evapotranspiração da cultura foi calculada pelo produto da evapotranspiração de referência e dos coeficientes de cultura para o algodoeiro (Bernardo et al., 2006). Quando a precipitação efetiva foi menor que a evapotranspiração da cultura, aplicou-se uma lâmina de água necessária para elevação da umidade do solo à capacidade de campo.

Amostraram-se o solo e as plantas aos 35, 50 e 80 DAE, coincidindo com os estádios fenológicos de primeiro botão floral, início de florescimento e florescimento pleno com desenvolvimento de maçãs. Esses estádios foram escolhidos por serem as fases do início de rápido crescimento, crescimento pleno e estabilização do crescimento vegetativo, respectivamente. A amostra de solo foi composta de amostras simples retiradas transversalmente ao sentido das fileiras. Após secadas ao ar e tamisadas em peneira de 2 mm, determinou-se o P – “disponível” pelo extrator Mehlich – 1.

Coletou-se a parte aérea de quatro plantas da área útil, que foram lavadas e tiveram as folhas (do ramo principal e dos ramos frutíferos) separadas dos caules, aos 35 e 50 DAE; aos oitenta dias após a emergência, separaram-se as folhas (do ramo principal e dos ramos frutíferos), dos caules e das estruturas reprodutivas (botões florais, flores e frutos). Em seguida, cada órgão da planta foi levado à estufa com ventilação forçada de ar, a 70 °C e secados, até massa constante; após a secagem cada órgão da planta foi triturado em moinho tipo Wiley equipado com peneira de 1,27 mm para determinação do teor de P de acordo com Malavolta et al. (1997).

Com o teor de P calculou-se a quantidade acumulada em cada parte da planta (conteúdo), nas épocas de amostragem, por meio do produto da massa seca do órgão e teor de P da respectiva parte da planta. A quantidade total absorvida aos 35, 50 e 80 DAE foi obtida pela soma do conteúdo das partes (folhas, caules e estruturas reprodutivas).

Na coleta de plantas aos 80 DAE realizou-se a contagem do número de estruturas reprodutivas (botões florais, flores, e maçãs) e se mediu a altura de plantas. Coletou-se, ainda, a folha índice (quinta folha completamente expandida do ápice para a base) de dez plantas da área útil de cada parcela para determinação dos teores de N, P, K, Ca, Mg, S, Cu, Fe, Mn, Zn e B, após lavagem, secagem, trituração e digestão, conforme método descrito por Malavolta et al. (1997).

Realizou-se a desfolha utilizando-se carfentrazone – ethyl associado a óleo mineral no cultivo de sequeiro aos 128 DAE e no irrigado aos 138 DAE. Procedeu-se à colheita aos 134 e 145 DAE, nos cultivos de sequeiro e irrigado, respectivamente. Na colheita foram determinados o número e a massa dos capulhos de vinte plantas de cada parcela.

Definiu-se a produtividade de algodão em caroço após a colheita dos capulhos abertos da área útil da parcela e se calculou a eficiência relativa da adubação fosfatada tomando-se, como referencial, a produção de algodão em caroço do tratamento sem adubação fosfatada (Resende et al., 2006).

Os dados foram submetidos à análise de variância, através do software estatístico SAEG Versão 9.1 (SAEG, 2007). Realizou-se o desdobramento dos graus de liberdade dos fatores estudados comparando-se os parcelamentos P1, P2 e P3 com a testemunha PS para cada sistema de cultivo e dose de P pelo teste Dunnett a nível de 5% de probabilidade. As doses de P foram comparadas pelo teste t e os sistemas de cultivo pelo teste F. Quando não significativa a diferença entre as médias dos parcelamentos dentro de cada dose de P e sistema de cultivo, compararam-se as doses e os sistemas, de forma independente do parcelamento.

Tabela 2. Efeito do parcelamento do fertilizante fosfatado na cultura do algodão, no cultivo sob irrigação e de sequeiro sobre o P disponível no solo, pelo extrator Mehlich – 1, aos 35, 50 e 80 DAE

Parcelamento	Irrigado (I)			Sequeiro (S)			I vs S		
	0	50	120	0	50	120	0	50	120
P - Mehlich - 35 DAE (mg dm ⁻³) – CV = 53,9%									
PS	38,9 a	36,7 a	67,2 a	36,0 a	48,8 bc	125,8 a	ns ²	ns	*
P1	38,9 a	47,3 Aa ¹	43,4 Aa	36,0 a	41,5 Aa	75,7 Aa	ns	ns	ns
P2	38,9 a	32,0 Aa	56,2 Aa	36,0 a	39,2 Aa	46,3 Ba	ns	ns	ns
P3	38,9 a	33,3 Aa	35,1 Aa	36,0 a	36,6 Aa	51,5 Ba	ns	ns	ns
P - Mehlich - 50 DAE (mg dm ⁻³) – CV = 49,9%									
PS	34,1 a	29,0 a	60,8 a	26,4 c	46,9 b	102,9 a	ns	ns	*
P1	34,1 a	47,9 Aa	32,8 Aa	26,4 c	39,8 Ab	85,4 Aa	ns	ns	*
P2	34,1 a	29,6 Aa	50,5 Aa	26,4 a	59,3 Aa	50,7 Aa	ns	ns	ns
P3	34,1 a	50,7 Aa	37,0 Aa	26,4 b	59,9 Aa	50,8 Aa	ns	ns	ns
P - Mehlich - 80 DAE (mg dm ⁻³) – CV = 55,9%									
PS	34,6 a	31,2 a	59,8 a	24,6 c	43,4 b	99,9 a	ns	ns	ns
P1	34,6 a	35,7 Aa	33,3 Aa	24,6 c	41,9 Ab	76,7 Aa	ns	ns	*
P2	34,6 a	29,6 Aa	53,9 Aa	24,6 a	57,3 Aa	42,8 Aa	ns	ns	ns
P3	34,6 a	51,6 Aa	43,7 Aa	24,6 c	88,5 Aa	35,2 Abc	ns	ns	ns

¹ Letras maiúsculas comparam os parcelamentos: A e B não diferem e diferem, respectivamente, do tratamento testemunha (PS) pelo teste Dunnett a 5% de probabilidade. Médias seguidas de uma mesma letra minúscula nas linhas para cada sistema de cultivo, não diferem entre si pelo teste t a 5% de probabilidade

² * e ns, significativa a 5% e não significativa, respectivamente, a diferença do contraste entre os sistemas de cultivo (I vs S). I = cultivo irrigado e S = cultivo em condições de sequeiro. PS, P1, P2, P3 (100/0; 75/25; 50/50; 25/75% da dose do fertilizante fosfatado aplicada em semeadura e aos 35 DAE, respectivamente)

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Houve interação doses de P x formas de aplicação (parcelamentos) x sistemas de cultivo (irrigado e sequeiro) para o P-disponível no solo (Tabela 2); aos 35 DAE a aplicação parcelada influenciou no P-disponível apenas na dose de 120 kg ha⁻¹ de P₂O₅, no cultivo de sequeiro, sendo maior a disponibilidade nos parcelamentos PS e P1; esta resposta pode ser considerada efeito de dose, haja vista a maior quantidade de P aplicada em P2 e P3 por ocasião da semeadura em comparação com a testemunha e com o parcelamento P1. A diferença encontrada entre parcelamentos para a dose 120 kg ha⁻¹ de P₂O₅ não perdurou nos 50 e 80 DAE, épocas em que a parcela do P em cobertura havia sido aplicada.

Na comparação da disponibilidade de P entre os sistemas ocorreu diferença entre o sistema irrigado e o sequeiro, na dose 120 kg ha⁻¹ de P₂O₅, aos 35 DAE (Tabela 2). O comportamento diferenciado do sequeiro para esta dose, em relação ao cultivo irrigado, pode ter advindo de uma difusão maior do P entre as linhas, em função da maior disponibilidade de água no solo. Tal efeito não foi observado nos demais parcelamentos (P1, P2 e P3) em virtude da menor quantidade aplicada em semeadura; de modo geral, não houve diferença na disponibilidade de P no solo entre as doses, dentro de cada sistema.

Para as características vegetativas (massa de parte aérea seca e altura de plantas aos 80 DAE), reprodutivas (número de estruturas reprodutivas aos 80 DAE) e componentes de produção (número de capulhos por planta e massa de capulho), não houve efeito dos parcelamentos (Tabelas 3 e 4). Esta resposta pode ser relacionada ao fator capacidade de P na área experimental, que é reduzido, e à disponibilidade original de P no solo, classificada média (Alvarez et al., 1999; Santos et al., 2009).

Para a classe de disponibilidade média a produção relativa esperada sem aplicação de fertilizante é de 70 a 90%; desta

Tabela 3. Produção de massa seca, número de estruturas reprodutivas, altura de plantas, componentes de produção, eficiência relativa e produtividade de algodão em caroço sob doses de P, nos sistemas de cultivo irrigado e de sequeiro

Sistema	Doses de fósforo (kg ha ⁻¹ de P ₂ O ₅)		
	0	50	120
Massa de parte aérea seca - 35 DAE (kg ha ⁻¹) – CV = 15,6%			
Irrigado	877 Aa ¹	827 Aa	801 Aa
Sequeiro	705 Ab	886 Aa	894 Aa
Massa de parte aérea seca - 50 DAE (kg ha ⁻¹) – CV = 24,3%			
Irrigado	3404 Aa	3549 Aa	3839 Aa
Sequeiro	3191 Aa	3063 Aa	3452 Aa
Massa de estruturas reprodutivas secas - 80 DAE (kg ha ⁻¹) – CV = 30,9%			
Irrigado	874 Aa	1392 Aa	1303 Aa
Sequeiro	898 Aa	1199 Aa	1296 Aa
Massa de parte aérea seca - 80 DAE (kg ha ⁻¹) – CV = 25,5%			
Irrigado	6526 Aa	7649 Aa	7168 Aa
Sequeiro	4434 Aa	5016 Ba	5553 Ba
Número de estruturas reprodutivas - 80 DAE – CV = 25,8%			
Irrigado	94 Aa	103 Aa	98 Aa
Sequeiro	61 Ba	47 Ba	50 Ba
Altura de plantas - 80 DAE (cm) – CV = 7,7%			
Irrigado	104,2 Aa	105,0 Aa	103,0 Aa
Sequeiro	79,2 Ba	77,0 Ba	78,0 Ba
Massa de capulho (g) – CV = 8,4%			
Irrigado	5,4 Ba	5,8 Aa	5,8 Aa
Sequeiro	6,4 Aa	5,9 Aa	5,9 Aa
Número de capulhos por planta – CV = 16,5%			
Irrigado	6,7 Ab	7,9 Aab	8,5 Aa
Sequeiro	4,5 Ba	4,8 Ba	5,2 Ba
Eficiência relativa da adubação fosfatada – CV = 16,7%			
Irrigado	141 Ab	177 Ab	190 Aa
Sequeiro	100 Ba	106 Ba	114 Ba
Produtividade de algodão em caroço (kg ha ⁻¹) – CV = 16,2%			
Irrigado	3942 Ab	4958 Aa	5321 Aa
Sequeiro	2788 Ba	2965 Ba	3170 Ba

¹ Médias seguidas por uma mesma letra minúscula na linha não diferem entre si pelo teste t, e as seguidas da mesma letra maiúscula na coluna não diferem entre si pelo teste F, ambos a 5% de probabilidade

Tabela 4. Massa da matéria seca, teor e conteúdo de P nas folhas e caules, aos 35, 50 e 80 DAE, na cultura do algodão

Variáveis	Médias ¹	CV (%)
Massa ² de folha seca – 35 DAE	601	15,8
Massa de caule seco – 35 DAE	241	16,9
Massa de folha seca – 50 DAE	2047	24,5
Massa de caule seco – 50 DAE	1369	24,8
Massa de folha seca – 80 DAE	2718	26,3
Massa de caule seco – 80 DAE	2367	29,4
Teor ³ de P na folha – 35 DAE	4,5	11,9
Teor de P no caule – 35 DAE	2,8	16,0
Teor de P na folha – 50 DAE	4,5	9,2
Teor de P no caule – 50 DAE	2,9	16,4
Teor de P na folha – 80 DAE	3,4	10,6
Teor de P no caule – 80 DAE	2,1	11,8
Conteúdo ² de P nas folhas – 35 DAE	2,7	24,5
Conteúdo de P nos caules – 35 DAE	0,7	27,8
Conteúdo de P nas folhas – 50 DAE	9,4	30,9
Conteúdo de P nos caules – 50 DAE	4,1	35,8
Conteúdo de P nas folhas – 80 DAE	9,5	29,1
Conteúdo de P nos caules – 80 DAE	5,2	35,7

¹ Médias dos cultivos irrigados e de sequeiro nas doses 0, 50 e 120 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e dos parcelamentos da adubação fosfatada

² kg ha⁻¹

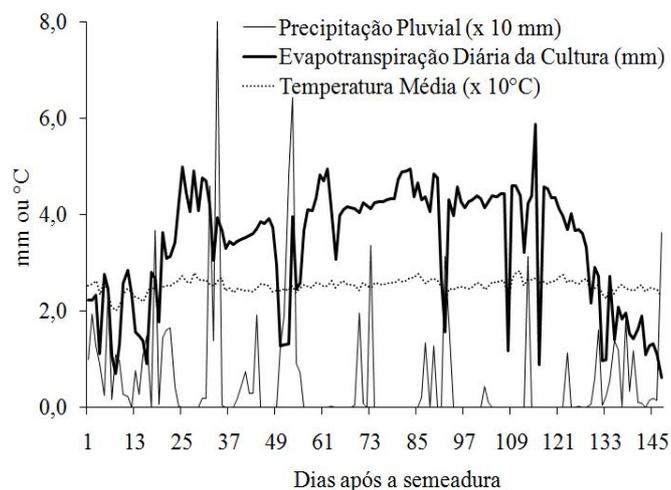
³ g kg⁻¹

forma, o maior acréscimo de produtividade esperado com a dose de 60 kg ha⁻¹ de P₂O₅, recomendada para a cultura em solo com disponibilidade de P classificada como média (Alvarez et al., 1999) é de 30%. Observou-se acréscimo de 25% na produtividade de algodão em caroço com a aplicação da dose 50 kg ha⁻¹ de P₂O₅, confirmando que os limites que separam as classes de disponibilidade de P no solo e a recomendação de fertilizante fosfatado para o algodoeiro, de acordo com Alvarez et al. (1999), estão bem ajustados.

Estratégias que visam à maior eficiência dos fertilizantes fosfatados como granulação, aplicação localizada em linha ou cova e uso de fontes de menor solubilidade, apresentam maior efeito em condições menos favoráveis à absorção pela planta e mais favoráveis à adsorção e fixação do P pelo solo (Büll et al., 2004; Prochnow et al., 2006). Dentre as condições que favorecem a absorção do nutriente pela planta podem ser citados maior teor disponível, crescimento radicular abundante, solos com menor fator capacidade de P e níveis adequados de umidade (Bastos et al., 2008; Santos et al., 2009; Broggi et al., 2010).

Com relação às condições que favorecem maior fixação do P pela fração mineral do solo, podem ser citados solos intemperizados, alto teor de argilas, especialmente as ricas em Fe e Al, baixos teores iniciais do elemento no solo, solos com maior fator capacidade de P e uso de fontes mais solúveis e de granulometria reduzida (Novais & Smyth, 1999; Vance et al., 2003).

A precipitação total e a evapotranspiração da cultura durante o experimento, foram 952 e 497 mm, respectivamente; a precipitação pluvial superou a demanda da cultura (Silva et al., 2009); no entanto, a irrigação favoreceu a produtividade, em virtude dos períodos de déficit hídrico (veranicos) e à baixa capacidade de armazenamento de água pelo solo (Tabela 1 e Figura 1). Não só a quantidade total precipitada influencia a

**Figura 1.** Precipitação, evapotranspiração da cultura e temperatura média durante a condução do experimento

produtividade mas, especialmente, sua distribuição ao longo do ciclo da cultura, de forma que os períodos críticos, em termos de consumo de água, sejam atendidos (Nunes Filho et al., 1998).

A irrigação favoreceu maior acúmulo de P na parte aérea, sobretudo aos 80 DAE, permitindo também maior acúmulo de matéria seca de plantas (Tabelas 3 e 5), porém a massa de estruturas reprodutivas secadas aos 80 DAE, não diferiu entre o cultivo irrigado e o de sequeiro, diferindo apenas no seu número.

Tabela 5. Teor de P nas estruturas reprodutivas (ER) aos 80 DAE e P contido na parte aérea aos 35, 50 e 80 DAE com a aplicação de doses de P no algodoeiro cultivado sob irrigação ou sequeiro

Sistema	Doses		
	0	50	120
Teor de P nas ER - 80 DAE (g kg ⁻¹) – CV = 10,7%			
Irrigado	6,2 Aa ¹	5,9 Aa	6,0 Aa
Sequeiro	4,8 Ba	4,6 Ba	4,9 Ba
P contido na parte aérea aos 35 DAE (kg ha ⁻¹) – 24,5%			
Irrigado	3,6 Aa	3,2 Aa	3,4 Aa
Sequeiro	2,9 Aa	3,6 Aa	3,6 Aa
P contido na parte aérea aos 50 DAE (kg ha ⁻¹) – CV = 32,0%			
Irrigado	13,8 Aa	14,4 Aa	15,6 Aa
Sequeiro	11,9 Aa	11,6 Aa	13,2 Aa
P contido nas ER aos 80 DAE (kg ha ⁻¹) – CV = 29,1%			
Irrigado	5,3 Ab	7,9 Aa	7,7 Aab
Sequeiro	6,3 Aa	5,6 Ba	6,4 Ba
Conteúdo de P na parte aérea aos 80 DAE (kg ha ⁻¹) – CV = 26,6%			
Irrigado	22,94 Aa	26,6 Aa	26,0 Aa
Sequeiro	19,76 Aa	15,5 Ba	17,7 Ba

¹ Médias seguidas da mesma letra minúscula na linha não diferem pelo teste t, e as seguidas da mesma letra maiúscula na coluna não diferem entre si pelo teste F, ambos a 5% de probabilidade

As condições adequadas de umidade no cultivo irrigado propiciaram maior retenção das estruturas reprodutivas na planta, aumentando o número de capulhos por planta e a produtividade de algodão em caroço na colheita (Tabela 3). No algodoeiro, a produtividade é aumentada pela irrigação, em particular pela maior retenção de estruturas reprodutivas, especialmente nos primeiros ramos

reprodutivos da planta (Arruda et al., 2002; Nuti et al., 2006; Balkcom et al., 2007).

Tanto a produtividade quanto o conteúdo de P na parte aérea e nas estruturas reprodutivas aos 80 DAE foram maiores no cultivo irrigado (Tabela 5). Sob condição de sequeiro não houve resposta à aplicação do P para a produtividade de algodão em caroço, indicando que a umidade foi mais limitante que a dose de P aplicada (Tabela 3). A redução no teor de P nas estruturas reprodutivas aos 80 DAE pode ter sido fator determinante para reduzir o número de capulhos por planta na colheita.

A umidade do solo tem grande influência sobre o transporte de nutriente do solo à raiz, especialmente no caso de nutrientes menos móveis, como o P (Miola et al., 2000; Costa et al., 2006). Independentemente do fator capacidade de P do solo, a redução da umidade reduz o fluxo difusivo do P e, por consequência, a quantidade total absorvida (Costa et al., 2006).

Os teores de P na folha índice observados nas plantas, tanto sob regime de irrigação quanto no de sequeiro, estão dentro da faixa considerada adequada à cultura do algodão, que varia de 2,0 a 4,5 g kg⁻¹ de acordo com Silva (2008) (Tabela 6);

Tabela 6. Teor de nutrientes na folha índice aos 80 DAE com a aplicação de doses de P na cultura do algodão, nos cultivos irrigado e de sequeiro

Sistema	Doses		
	0	50	120
	P (g kg ⁻¹) – CV = 10,7%		
Irrigado	3,6 Aa ¹	3,8 Aa	3,8 Aa
Sequeiro	2,9 Ba	3,1 Ba	3,2 Ba
	N (g kg ⁻¹) – CV = 5,7%		
Irrigado	42,8 Aa	41,6 Aab	41,3 Ab
Sequeiro	37,6 Ba	39,6 Ba	38,8 Ba
	K (g kg ⁻¹) – CV = 12,7%		
Irrigado	16,5 Aa	16,8 Ba	16,8 Ba
Sequeiro	19,8 Aa	20,3 Aa	18,9 Aa
	Ca (g kg ⁻¹) – CV = 9,7%		
Irrigado	41,8 Aa	45,2 Ba	47,4 Ba
Sequeiro	47,5 Aa	52,9 Aa	52,0 Aa
	Mg (g kg ⁻¹) – CV = 19,2%		
Irrigado	5,3 Aa	4,9 Ba	5,7 Ba
Sequeiro	6,5 Aa	7,4 Aa	7,5 Aa
	S (g kg ⁻¹) – CV = 15,7%		
Irrigado	17,3 Aa	17,8 Ba	19,1 Aa
Sequeiro	19,8 Aa	20,4 Aa	20,3 Aa
	Cu (mg kg ⁻¹) – CV = 26,5%		
Irrigado	5,94 Aa	6,00 Ba	5,67 Ba
Sequeiro	5,65 Bb	6,53 Aa	5,96 Aa
	Fe (mg kg ⁻¹) – CV = 15,5%		
Irrigado	90,09 Aa	72,76 Bb	74,58 Ab
Sequeiro	78,05 Ba	88,86 Aa	82,33 Aa
	Zn (mg kg ⁻¹) – CV = 11,7%		
Irrigado	62,99 Aa	65,32 Aa	62,24 Aa
Sequeiro	59,91 Aa	65,38 Aa	63,64 Aa
	Mn (mg kg ⁻¹) – CV = 29,4%		
Irrigado	518,76 Aa	540,26 Aa	530,23 Aa
Sequeiro	438,01 Aa	437,54 Aa	440,91 Aa
	B (mg kg ⁻¹) – CV = 22,3%		
Irrigado	41,91 Aa	44,21 Aa	41,47 Aa
Sequeiro	62,07 Ba	52,18 Ab	48,20 Ab

¹ Médias seguidas da mesma letra minúscula na linha não diferem pelo teste t, e as seguidas da mesma letra maiúscula na coluna não diferem entre si pelo teste F, ambos a 5% de probabilidade

entretanto, o fator capacidade de P determina a quantidade de P em solução e, por sua vez, o teor de P adequado a determinado nível de produtividade da cultura (Bastos et al., 2008).

Solos com menor fator capacidade de P apresentam maior valor de P na folha índice, em relação àqueles solos de maior fator capacidade, para o mesmo nível de produtividade (Muniz et al., 1985; Bastos et al., 2010). Desta forma, para o solo em questão (menor fator capacidade de P), o teor de P na folha índice nas plantas cultivadas sob sequeiro é considerado baixo, fato confirmado pela menor produtividade do cultivo de sequeiro em relação ao irrigado.

A irrigação propiciou maior altura de plantas, mas esta altura não foi influenciada pelas doses de P aplicadas (Tabela 3). Dentre os efeitos da deficiência hídrica na cultura do algodão pode-se citar a redução do número de folhas, do diâmetro do caule e da altura de plantas (Cordão Sobrinho et al., 2007). Houve acréscimo médio de 62% na produtividade de algodão em caroço nos tratamentos sob irrigação em comparação aos sob regime de sequeiro (Tabela 3). No cultivo irrigado houve resposta à aplicação de P não tendo havido diferença entre as médias das doses 50 e 120 kg ha⁻¹ de P₂O₅, o que pode ser atribuído à disponibilidade de P existente originalmente na área experimental, classificada como média (Alvarez et al., 1999).

Cordão Sobrinho et al. (2007) observaram aumento de mais de 300% na produtividade de algodão em caroço sob irrigação em comparação com o cultivo sob regime de sequeiro. A resposta à irrigação depende de uma série de fatores, como material genético, nível de produtividade almejado, condições de preparo do solo (correções físicas e químicas no perfil), do sistema de irrigação utilizado, do tipo de solo (especialmente da capacidade de armazenamento de água e fertilidade) e das condições climáticas (demanda evapotranspirométrica e distribuição de chuvas) (Bernardo et al., 2006).

O teor de N na folha índice foi maior no cultivo irrigado, sistema no qual ocorreu redução do teor desse nutriente com o aumento da dose de P (Tabela 5). O teor de N no cultivo irrigado está dentro da faixa considerada adequada para a cultura (Possamai, 2003; Silva, 2008). O N é transportado principalmente por fluxo de massa, de forma que nas plantas cultivadas sob irrigação a umidade foi adequada ao transporte, ou seja, possivelmente a maior transpiração permitiu maior absorção de N. O maior teor de N na folha índice no cultivo de sequeiro em relação ao irrigado pode ser atribuído, também, ao maior acúmulo de massa seca na parte aérea deste último, diluindo o N absorvido.

Os teores foliares de K, Ca, Mg e S na folha índice, aos 80 DAE, foram maiores nas plantas do cultivo de sequeiro e não foram influenciados pelas doses de P (Tabela 6). Independentemente da irrigação, os teores de Ca e S ficaram acima dos considerados adequados para a cultura, e os de K e Mg abaixo (Silva, 2008). A relação Ca:Mg aos 80 DAE era de 4:1. A maior relação Ca:Mg e Ca:K contribuiu para os maiores valores foliares de Ca e menores de Mg e K. O teor de S acima do adequado se deveu possivelmente, à elevação da sua disponibilidade, pois 40% da dose de N foram aplicados via sulfato de amônio, adubo detentor de 24% de S.

Os teores foliares de Cu e Fe na folha índice aos 80 DAE foram maiores no cultivo irrigado quando não se aplicou o P, e

no cultivo de sequeiro, quando se aplicou o P (Tabela 5). Os teores de Cu e Fe ficaram abaixo da concentração adequada para produções em torno de 5000 kg ha⁻¹ (Possamai, 2003; Silva, 2008). O menor teor de Fe pode ser atribuído à pobreza do elemento no solo da área experimental e à disponibilidade de P, classificada média (Alvarez et al., 1999). O aumento da disponibilidade de P no solo pode levar à formação de compostos de baixa solubilidade de P ligado ao Fe, reduzindo a disponibilidade deste último para as plantas (Vance et al., 2003).

Não houve diferença entre os teores de Zn e Mn na folha índice entre os tratamentos (Tabela 6), os quais ficaram acima da concentração adequada para a cultura. A concentração de Mn acima do adequado pode ser devida ao encharcamento do solo que ocorreu na fase inicial do desenvolvimento da cultura; a alteração do potencial de oxirredução pode aumentar a disponibilidade deste elemento. O teor de B situou-se dentro da faixa de concentração adequada para a cultura (Possamai, 2003). Observou-se maior teor deste nutriente no cultivo de sequeiro sem aplicação de P; o efeito de diluição, discutido para o N e promovido pelo maior acúmulo de massa seca no cultivo irrigado, é válido para o B.

A eficiência relativa da adubação fosfatada não foi influenciada pelas doses de P no cultivo de sequeiro e aumentou com o incremento das doses de P no cultivo irrigado (Tabela 3), no qual a eficiência relativa superou a observada por Resende et al. (2006) num solo com elevado fator capacidade de P submetido ao cultivo de milho adubado com superfosfato triplo. A eficiência relativa depende de características relacionadas ao grau de tamponamento do solo ao nutriente e da eficiência de absorção e utilização da espécie e das cultivares de cada espécie (Vance et al., 2003; Resende et al., 2006).

CONCLUSÕES

1. O parcelamento não foi eficiente no aumento da eficiência do fertilizante fosfatado em Neossolo Quartzarênico com disponibilidade de P classificada média.
2. O parcelamento do fertilizante fosfatado não afetou o teor de nutrientes na folha índice do algodoeiro.
3. A irrigação promoveu acréscimo da matéria seca da parte aérea e do número de capulhos por planta, o que resultou em maior produtividade de algodão em caroço.
4. A resposta às doses de P para produtividade ocorreu apenas no cultivo irrigado, no qual a maior produtividade foi alcançada com a dose de 50 kg ha⁻¹ de P₂O₅.

AGRADECIMENTOS

Ao CNPq, pela bolsa de Doutorado concedida durante parte do Doutorado do primeiro autor; à FAPEMIG, pelo auxílio financeiro à pesquisa; à Iharabras, pela concessão de fitossanitários, e à MDM Sementes de Algodão, pela doação das sementes utilizadas nos experimentos.

LITERATURA CITADA

- Alvarez, V. H.; Novais, R. F.; Barros, N. F.; Cantarutti, R. B.; Lopes, A. S. Interpretação dos resultados das análises de solos. In: Ribeiro, A. C.; Guimarães, P. T. G.; Alvarez, V. H. (ed.). Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª Aproximação. Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. Cap.5, p. 25-32.
- Arruda, F. P.; Andrade, A. P.; Silva, I. F.; Pereira, E. P.; Guimarães, M. A. M. Emissão/Abscisão de estruturas reprodutivas do algodoeiro herbáceo, cv. CNPA 7H: efeito do estresse hídrico. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.6, p.21-27, 2002.
- Balkcom, K. S.; Shaw, J. N.; Reeves, D. W.; Burmester, C. H.; Curtis, L. M. Irrigated cotton response to tillage systems in the Tennessee Valley. *Journal of Cotton Science*, v.11, p.2-11, 2007.
- Bastos, A. L.; Costa, J. P. V.; Silva, I. F.; Raposo, R. W. C.; Oliveira, F. A.; Albuquerque, A. W. Resposta do milho a doses de fósforo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.14, p.485-491, 2010.
- Bastos, A. L.; Costa, J. P. V.; Silva, I. F.; Raposo, R. W. C.; Souto, J. S. Influência de doses de fósforo no fluxo difusivo em solos de Alagoas. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.12, p.136-142, 2008.
- Bernardo, S.; Soares, A. A.; Mantovani, E. C. Manual de irrigação. 6.ed. Viçosa: UFV, 2006. 625p.
- Broggi, F.; Oliveira, A. C.; Freire, F. J.; Freire, M. B. G.; Nascimento, C. W. A. Adsorption and chemical extraction of phosphorus as a function of soil incubation time. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.14, p.32-38, 2010.
- Büll, L. T.; Costa, M. C. G.; Novello, A.; Fernandes, D. M.; Bôas, R. L. V. Doses and forms of application of phosphorus in vernalized garlic. *Scientia Agricola*, v.61, p.516-521, 2004.
- Cordão Sobrinho, F. P.; Fernandes, P. D.; Beltrão, N. E. de M.; Soares, F. A. L.; Terceiro Neto, C. P. C. Crescimento e rendimento do algodoeiro BRS – 200 com aplicações de cloreto de mepiquat e lâminas de irrigação. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.11, p.284-292, 2007.
- Costa, J. P. V.; Barros, N. F.; Albuquerque, A. W.; Moura Filho, G.; Santos, J. R. Fluxo difusivo de fósforo em função de doses e da umidade do solo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.10, p.828-835, 2006.
- Gonçalves, J. L. M.; Firme, D. J.; Novais, R. F.; Ribeiro, A. C. Cinética de adsorção de fósforo em solos de cerrado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.9, p.107-111, 1985.
- Malavolta, E.; Vitti, G. C.; Oliveira, S. A. Princípios, métodos e técnicas de avaliação do estado nutricional. In: Malavolta, E. (ed.). Avaliação do estado nutricional de plantas: Princípios e aplicações. 2.ed. Piracicaba: Potafos, 1997. p.115-230.

- Miola, G. L.; Tedesco, M. J.; Flávio, C. G.; Camargo, A. O. Teor de água no solo na extração de fósforo por papel filtro impregnado com óxido de ferro. *Ciência Rural*, v.30, p.721-723, 2000.
- Muniz, A. S.; Novais, R. F.; Barros, N. F.; Neves, J. C. L. Nível Crítico de fósforo na parte aérea da soja com variável do fator capacidade de fósforo do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.9, p.237-243, 1985.
- Novais, R. F.; Smyth, T. J. Fósforo em solo e planta em condições tropicais. Viçosa: UFV, 1999. 399p.
- Nunes Filho, J.; Sá, V. A. L.; Oliveira Júnior, I. S.; Coutinho, J. L. B.; Santos, V. F. Efeito de lâminas de irrigação sobre o rendimento e qualidade da fibra de cultivares de algodoeiro herbáceo (*Gossypium hirsutum* L. r. *latifolium* Hutch). *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.2, p.295-299, 1998.
- Nuti, R. C.; Casteel, S. N.; Viator, R. P.; Lanier, J. E.; Edmisten, K. L.; Jordan, D. L.; Grabow, G. L.; Barnes, J. S.; Matews, J. W.; Wells, R. Management of cotton grow under overhead sprinkle and sub – surface drip irrigation. *Journal of Cotton Science*, Sidney, v.10, p.76-88, 2006.
- Possamai, J. M. Sistema de recomendação de corretivos e fertilizantes para o cultivo do algodoeiro. Viçosa: UFV, 2003. 91p. Dissertação Mestrado
- Prochnow, L. I.; Quispe, J. F. S. Francisco, E. A. B.; Braga, G. Effectiveness of phosphate fertilizers of different water solubilities in relation to soil phosphorus adsorption. *Scientia Agrícola*, v.63, p.333-340, 2006.
- Resende, A. V.; Furtini Neto, A. E.; Alves, V. M. C.; Muniz, J. A.; Curi, N.; Faquin, V.; Kimpara, D. I.; Santos, J. Z. L.; Carneiro, L. F. Fontes e modos de aplicação de fósforo para o milho em solo cultivado da região do Cerrado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.30, p.453-466, 2006.
- SAEG – Sistema para Análises Estatísticas, Versão 9.1: Fundação Arthur Bernardes. Viçosa: UFV, 2007.
- Santos, V. S.; Moura Filho, G.; Albuquerque, A. W.; Costa, J. P. V.; Santos, C. G.; Santos, A. C. I. Crescimento e produtividade agrícola de cana-de-açúcar em diferentes fontes de fósforo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.13, p.389-396, 2009.
- Silva, M. A. C. Diagnose foliar em algodão. In: Prado, R. M.; Rozane, D. E.; Vale, D. W.; Correia, M. A. R.; Souza, H. A. (ed.). *Nutrição de plantas: diagnose foliar em grandes culturas*. Jaboticabal: FCAV, 2008. p.251-266.
- Silva, L. L.; Costa, R. F.; Campos, J. H. B.; Dantas, R. T. Influência das precipitações na produtividade agrícola no Estado da Paraíba. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.13, p.454-461, 2009.
- Silva, N. M.; Carvalho, L. H.; Sabino, J. C.; Lellis, L. G. L.; Sabino, N. P.; Kondo, J. I. Modo e época de aplicação de fosfatos na produção e outras características do algodoeiro. *Bragantia*, v.49, p.157-170, 1990.
- Vance, C. P.; Stone, C. U.; Allan, D. L. Phosphorus acquisition and use: Critical adaptations by plants for securing a nonrenewable resource. *New Phytologist*, v.157, p.423-447, 2003.