



Aplicação do fósforo e da irrigação na absorção e exportação de nutrientes pelo algodoeiro

Leonardo A. de Aquino¹, Rosiane F. B. A. Aquino², Tatiane C. Silva³,
Dayanne F. dos Santos³ & Paulo G. Berger⁴

RESUMO

Objetivou-se, com este trabalho, avaliar o efeito de doses de fósforo em cultivos de sequeiro e irrigado, sobre a biomassa seca da parte aérea, o conteúdo e a exportação de nutrientes e a produtividade do algodoeiro. O experimento foi conduzido em Neossolo Quartzarênico, na região Norte de Minas Gerais. O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso com quatro repetições, num arranjo fatorial de duas doses de P_2O_5 x dois sistemas de cultivo. Dois tratamentos adicionais, sem aplicação do fósforo em cada sistema, completaram os seis tratamentos estudados. Avaliaram-se o acúmulo de biomassa seca, o conteúdo e a exportação de nutrientes e a produtividade do algodoeiro. Os níveis de fósforo estudados não influenciaram o acúmulo de biomassa seca de parte aérea. O suprimento de P aumentou a exportação de P, Ca, Mg, S e Mn no cultivo irrigado e de N, K e Fe independentemente do sistema de cultivo. A irrigação aumentou a biomassa seca de parte aérea aos 80 dias após a emergência, o conteúdo de N, P, K, Ca, Mg, S, Cu, Fe, Mn, Zn e B, bem como a exportação desses pela colheita. Houve incremento do número de capulhos por planta, do rendimento de fibra e da produtividade com a irrigação. O aumento de produtividade com a aplicação do P foi condicionado ao uso da irrigação.

Palavras-chave: neossolo quartzarênico, *Gossypium hirsutum* L., conteúdo mineral

Phosphorus and irrigation application on the absorption and exportation of nutrients by cotton

ABSTRACT

This work aimed to evaluate the effect of phosphorus application in rainfed and irrigated crop on shoot dry matter, the absorption and nutrient exportation, and yield of cotton crop. The experiment was carried out in a Psament in the northern part of Minas Gerais State, Brazil. The experimental design was in randomized blocks with four replications in a factorial arrangement of two doses of P_2O_5 x two cropping systems. Two additional treatments in each system without phosphorus application completed six studied treatments. Accumulation of dry biomass, absorption and exportation of nutrients, and yield of seed cotton were evaluated. Phosphorus levels did not influence the accumulation of shoot dry biomass. P supply increased the exportation of P, Ca, Mg, S, and Mn under irrigated and of N, K, and Fe regardless of the cropping system. Irrigation increased the dry biomass of leaves, stems, and shoots at 80 days after emergency, and the absorption of N, P, K, Ca, Mg, S, Cu, Fe, Mn, Zn, and B, as well as their exportation by the crop. There was an increase in the number of bolls per plant, fiber yield and productivity through the irrigation use. Increasing productivity with P application was conditioned to irrigation.

Key words: quartzanic neossol, *Gossypium hirsutum* L., mineral content

¹ CRP/UFV, Campus Rio Paranaíba, Rodovia MG 230, Km 8, CEP 38810-000, Rio Paranaíba, MG. E-mail: leonardo.aquino@ufv.br

² Graduanda em Agronomia, UFV, Campus Rio Paranaíba, Rodovia MG 230, Km 8, CEP 38810-000, Rio Paranaíba, MG. E-mail: rosiane.aquino@yahoo.com.br

³ Graduanda em Agronomia, Instituto Federal do Norte de Minas Gerais, Campus Januária, Bom Jardim, CEP 39480-000, Januária, MG. E-mail: tatianeagronomia@gmail.com; dayannecefet@yahoo.com.br

⁴ Departamento de Fitotecnia/UFV, Avenida PH Rolfs, CEP 36570-000, Viçosa, MG. E-mail: pgberger@ufv.br

INTRODUÇÃO

A baixa fertilidade do solo, em especial a de fósforo (P), pode comprometer a produtividade do algodoeiro. As interações entre o P e o solo podem levar a 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).

Em algodão, a aplicação da dose de 726 kg ha⁻¹ de P₂O₅ parcelada ao longo de seis anos em solo argiloso no sulco de semeadura ou nos primeiro e quarto anos a lanço proporcionou maior produtividade quando comparada com a aplicação a lanço em dose única, no primeiro ano. Além do aumento da produtividade o P promoveu incrementos na massa dos capulhos, das sementes e do comprimento da fibra (Silva et al., 1990).

Os principais sintomas de deficiência de P no algodoeiro se caracterizam por atraso no desenvolvimento, coloração verde-escuro intenso nas folhas e manchas ferruginosas no limbo foliar. Ainda pode haver necrose de botões florais nas partes mais novas das plantas e amarelecimento das folhas mais velhas, devido à menor absorção de N e Mg (Rosolem & Bastos, 1997). Há formação de fibras imaturas, capulhos menores e leves, que não se abrem (Silva et al., 1990).

Aproximadamente 20% da área da região dos cerrados são ocupados pelos Neossolos Quartzarênicos (Goedert et al., 1980), solos com menos de 150 g kg⁻¹ de argila. Nos últimos anos tem ocorrido expansão das áreas de soja e de algodão em solos de textura média e arenosa em razão do menor custo da terra e da escassez de áreas de solos argilosos. Regiões com boa aptidão climática para a produção do algodão, como o Norte de Minas Gerais e Oeste do estado da Bahia, possuem extensas áreas de solos arenosos (Aquino, 2009). A menor capacidade de armazenamento de água desses solos associada à distribuição irregular de chuvas, pode predispor a cultura a déficit hídrico e comprometer sua produtividade.

Dentre as culturas anuais o algodoeiro (*Gossypium hirsutum*) se destaca pela tolerância relativamente alta à seca. Isso advém de seus ajustes fisiológicos e de sua capacidade de crescimento e plasticidade radicular. O sistema radicular do algodoeiro pode atingir 2 m de profundidade mas a maior parte se concentra na camada de solo de 0 - 40 cm (Silva et al., 2009).

A cultura do algodão requer, durante seu ciclo de vida, entre 650 e 900 mm de água. A demanda hídrica depende do clima, das práticas culturais, da disponibilidade de água no solo, da cultivar e da evapotranspiração. Em geral, na fase inicial até o aparecimento dos primeiros botões florais o requerimento hídrico é inferior a 2 mm dia⁻¹. Após esta fase e com o rápido crescimento vegetativo, o consumo de água aumenta, podendo ultrapassar 8 mm dia⁻¹ (Bezerra et al., 2010).

O estágio mais sensível ao déficit hídrico é o reprodutivo durante a floração e formação das maçãs, no qual o déficit ou excesso hídrico pode provocar queda das estruturas reprodutivas e reduzir a produtividade da cultura (Arruda et al., 2002; Bezerra et al., 2010). A deficiência hídrica pode reduzir

o diâmetro do caule, a altura das plantas e, conseqüentemente, a produtividade (Cordão Sobrinho et al., 2007).

O fornecimento adequado de água favorece a maior retenção de botões florais, especialmente nos primeiros ramos reprodutivos, além de aumentar a massa das sementes (Nutti et al., 2006; Balkcom et al., 2007). Cordão Sobrinho et al. (2007) estudaram reguladores de crescimento e lâminas de irrigação no algodoeiro e verificaram acréscimos de até 339% na produtividade com a irrigação.

Em estudo sobre transporte de P em seis solos com teor de argila de 50 a 570 g kg⁻¹, a redução da água da condição de saturação para 75% da porosidade total reduziu, em média, vinte vezes o fluxo difusivo de P (Miola et al., 2000). Costa et al. (2006) notaram interação entre as propriedades físico-químicas de solos com fator capacidade de P distintos, doses de P e conteúdo volumétrico de água no solo. Solos com maior fator capacidade de P foram mais restritivos à difusão do elemento, quando da ocorrência de redução da água no solo, especialmente nas menores doses de P.

Os resultados de pesquisa indicam que o conteúdo de 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.

Objetivou-se avaliar o efeito da aplicação de doses de fósforo em cultivo de sequeiro e irrigado sobre a biomassa seca e conteúdo de nutrientes da parte aérea, a exportação de nutrientes e a produtividade da cultura do algodão em Neossolo Quartzarênico.

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’. A semeadura foi realizada em 04/11/2008, com espaçamento de 80 cm e quantidade necessária de sementes para alcance de 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.

O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso com quatro repetições, num arranjo fatorial de duas doses de P₂O₅ (50 e 120 kg ha⁻¹ de P₂O₅) x dois sistemas de cultivo (sequeiro e irrigado por gotejamento). Dois tratamentos adicionais, que consistiram do cultivo em cada sistema, sem aplicação do P, completaram os seis tratamentos estudados.

Cada unidade experimental se constituiu de cinco de linhas de 6 m cada uma; a área útil correspondeu às três linhas centrais, sem 50 cm das extremidades. A fonte de P utilizada foi o superfosfato triplo granulado com 41% de P₂O₅.

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

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	
		cmol _c dm ⁻³							
		(mg 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 L ⁻¹	dag kg ⁻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			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 oxidação-redução; (8) -10 e -1500 kPa, respectivamente

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 K₂O, 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-p-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 e se instalou 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 as plantas aos 50 e 80 DAE, coincidindo com os estádios fenológicos de início de florescimento e florescimento pleno com desenvolvimento de maçãs. Esses

estádios foram escolhidos por serem as fases de crescimento pleno e estabilização do crescimento vegetativo, respectivamente.

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 50 DAE; aos 80 DAE separaram-se as folhas (do ramo principal e dos ramos frutíferos), dos caules e das estruturas reprodutivas (botões florais, flores e frutos); na sequência, cada órgão da planta foi levado à estufa com ventilação forçada de ar, a 70°C e secado 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 dos teores de N, P, K, Ca, Mg, S, Cu, Fe, Mn, Zn e B, de acordo com método descrito por Malavolta et al. (1997).

Com o teor de cada nutriente 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 nutriente 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).

Realizou-se a desfolha quando 70% dos frutos encontraram abertos. Para isso utilizou-se carfentrazone – ethyl associado a óleo mineral no cultivo de sequeiro aos 128 DAE e nos cultivos irrigados 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. Realizou-se o descarocamento e se calculou o rendimento de fibra pela relação entre a massa de fibra e a de algodão em caroço de cada parcela.

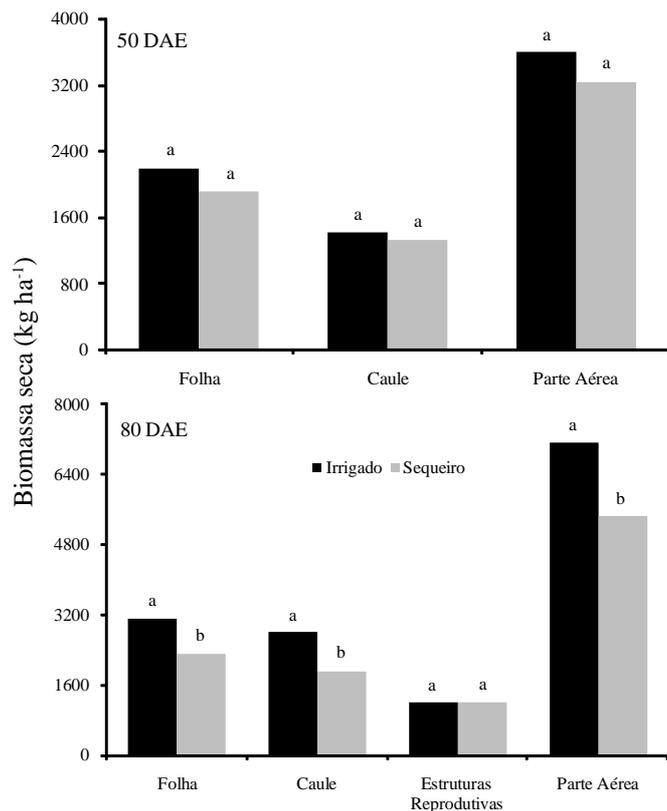
Uma amostra de capulhos de cada parcela foi pesada e em seguida triturada em moinho tipo Wiley equipado com peneira de 1,27 mm para determinação dos teores de N, P, K, Ca, Mg, S, Cu, Fe, Mn, Zn e B, conforme descrito anteriormente. Calculou-se a quantidade exportada de cada nutriente pelo produto entre seu teor e a matéria seca de capulhos da parcela.

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 as doses de P pelo teste Duncan e os sistemas de cultivo pelo teste F, ambos a 5% de probabilidade.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Houve efeito dos sistemas de cultivo sobre a biomassa seca acumulada apenas aos 80 DAE. No cultivo irrigado o acúmulo de biomassa seca de folhas e de caule foi maior, o que resultou em também maior biomassa seca de parte aérea (Figura 1).

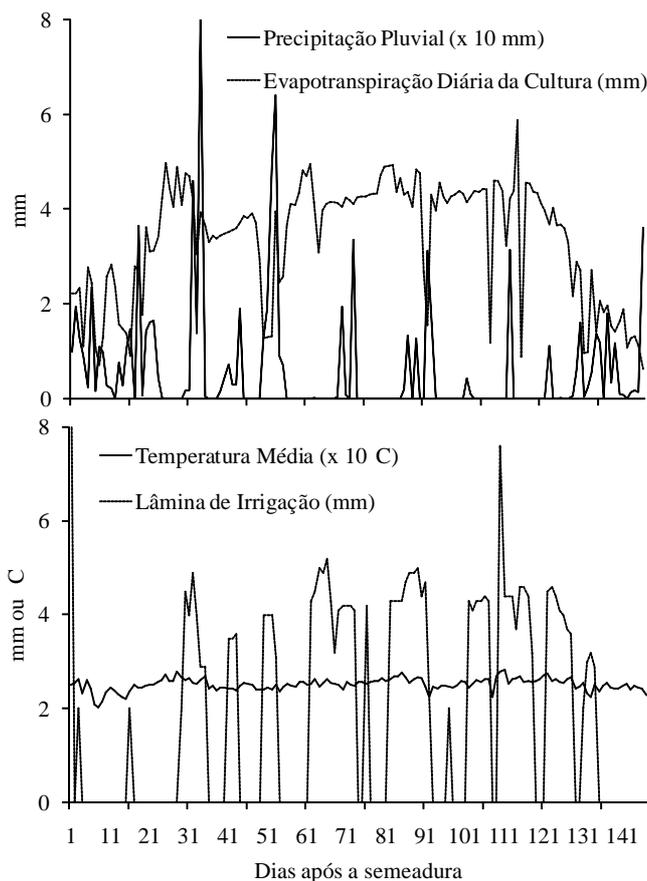


Médias dos sistemas de cultivo, irrigado ou sequeiro, seguidas da mesma letra, não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade.

Figura 1. Biomassa seca de parte aérea do algodoeiro nos cultivos de irrigado ou de sequeiro

Até os 50 DAE a distribuição adequada de chuvas associada à baixa demanda hídrica da cultura, resultou em satisfação das exigências hídricas da cultura no cultivo de sequeiro (Figura 2). O algodoeiro tem baixa demanda hídrica até a fase de florescimento, o que ocorre por volta de 50 DAE (Bezerra et al., 2010). Na fase de florescimento pleno e formação de maçãs o déficit hídrico pode acarretar redução da altura de plantas, na expansão foliar e da matéria seca acumulada na parte aérea (Cordão Sobrinho et al., 2007).

Não houve diferença significativa na biomassa seca de estruturas reprodutivas aos 80 DAE (Figura 1). No entanto, a irrigação promoveu maior número de capulhos por planta e produtividade de algodão em caroço (Tabela 2). Tal resposta se deveu à distribuição irregular da precipitação pluvial, especialmente após os 60 DAE (Figura 2). Apesar de a precipitação pluvial superar a evapotranspiração da cultura



Fonte: Januária (2009)

Figura 2. Precipitação, evapotranspiração diária da cultura, temperatura média e lâmina líquida de irrigação aplicada durante a condução do experimento

em fases críticas, como após o florescimento e no crescimento de maçãs (Bezerra et al., 2010), houve períodos de veranicos.

O solo da área experimental possui disponibilidade total de água de 26,4 mm na camada de 0-40 cm. Assim, devido à baixa capacidade de armazenamento de água os veranicos induzem à deficiência hídrica haja vista que, dentre os distúrbios provocados por esta na cultura, estão o menor acúmulo de biomassa e a queda de botões florais (Arruda et al., 2002). Isto reduz o número de capulhos por planta, especialmente nos ramos situados no ápice do ramo principal. A irrigação pode beneficiar a produtividade, por aumentar a massa de capulho mas, principalmente, por aumentar seu número por planta (Balkcom et al., 2007; Aquino et al., 2011). No cultivo irrigado foram suplementados 278 mm de água durante o ciclo via irrigação.

Não houve efeito das doses de P_2O_5 aplicadas sobre a biomassa seca de folhas, caule e estruturas reprodutivas aos 50 e 80 DAE. 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 como média (Alvarez et al., 1999; Santos et al., 2009). Além de que o preparo profundo do solo favorece o crescimento abundante do sistema radicular o que, por sua vez, também favorece a absorção de nutrientes em camadas mais profundas.

Para o conteúdo de nutrientes na parte aérea aos 50 DAE, ocorreu interação significativa dos sistemas de cultivo x doses

Tabela 2. Efeito de doses de fósforo e de sistemas de cultivo sobre o conteúdo de Zinco na parte aérea, exportação de nutrientes pela colheita, capulhos por planta, rendimento de fibra e produtividade de algodão em caroço

Sistema de cultivo	Doses de fósforo (kg ha ⁻¹ de P ₂ O ₅)		
	0	50	120
Conteúdo de Zn - 50 DAE (g ha ⁻¹) - CV = 18,9%			
Irrigado	205 Ab ¹	247 Aa	238 Aa
Sequeiro	179 Ba	157 Bab	146 Bb
P - exportado (kg ha ⁻¹) - CV = 14,6%			
Irrigado	28,1 Ab	33,4 Aa	35,8 Aa
Sequeiro	20,4 Ba	19,6 Ba	21,3 Ba
Ca exportado (kg ha ⁻¹) - CV = 15,2%			
Irrigado	10,1 Ab	12,4 Aa	13,6 Aa
Sequeiro	7,6 Ba	7,5 Ba	8,1 Ba
Mg exportado (kg ha ⁻¹) - CV = 14,3%			
Irrigado	9,9 Ac	11,6 Ab	12,8 Aa
Sequeiro	6,9 Ba	6,9 Ba	7,3 Ba
S exportado (kg ha ⁻¹) - CV = 25,1%			
Irrigado	1,6 Ab	2,9 Aa	3,1 Aa
Sequeiro	1,7 Aa	1,7 Ba	1,8 Ba
Mn exportado (g ha ⁻¹) - CV = 23,0%			
Irrigado	58,9 Ab	64,8 Ab	76,9 Aa
Sequeiro	51,2 Ba	41,7 Ba	47,3 Ba
Número de capulhos por planta - CV = 16,6%			
Irrigado	6,7 Ab	7,8 Aab	8,4 Aa
Sequeiro	4,5 Ba	4,9 Ba	5,5 Ba
Rendimento de fibra (%) - CV = 2,4%			
Irrigado	37,8 Ab	39,5 Aa	39,2 Aa
Sequeiro	36,8 Ba	37,3 Ba	36,9 Ba
Produtividade de algodão em caroço (kg ha ⁻¹) - CV = 16,2%			
Irrigado	3942 Ab	4819 Aa	5390 Aa
Sequeiro	3032 Ba	3062 Ba	3693 Ba

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

de P₂O₅ para o conteúdo de Zn (Tabela 2). O conteúdo de Zn foi maior no cultivo irrigado. Neste sistema foi notório o aumento do conteúdo com a aplicação do P. Por outro lado, no cultivo de sequeiro houve redução do conteúdo com o aumento das doses de P₂O₅. As condições adequadas de umidade no solo favorecem o transporte de nutriente, especialmente os

menos móveis, como é o caso do Zn (Novais & Mello, 2007); entretanto, há forte interação entre o Zn e o P no solo (Novais & Smyth, 1999). É provável que no cultivo de sequeiro tenha havido menor crescimento do sistema radicular e, por conseguinte, este ficou restrito a região rica em P, resultando em menor absorção de Zn.

No sistema de cultivo irrigado houve maior conteúdo de N, P, Ca, Mg, Cu, Fe, Mn e B aos 50 DAE e de todos os macro e micronutrientes analisados aos 80 DAE (Tabela 3). A irrigação favoreceu maior expansão de área foliar e crescimento da parte aérea (Figura 1). Este maior crescimento se estendeu, provavelmente, ao sistema radicular. O maior crescimento radicular e as condições adequadas de umidade são condições que favorecem a absorção de nutrientes, em especial daqueles cujo mecanismo principal de transporte no solo é a difusão (Costa et al., 2006; Oliveira et al., 2010). Adicionalmente, a maior biomassa de folhas está associada à maior área foliar transpirante que, por sua vez, contribui para maior conteúdo de nutrientes transportados predominantemente por fluxo de massa, como, por exemplo, o N, Ca, Mg e o B (Novais & Mello, 2007).

O conteúdo de nutrientes na parte aérea aos 80 DAE foi maior no cultivo irrigado (Tabela 3). Em ambos os sistemas de cultivo, exceto para o de B, este conteúdo supera o observado por Hulugalle et al. (2004) visto que não foram influenciados pelas doses de P. Esses autores estudaram o conteúdo de nutrientes na maturidade do algodoeiro em função do sistema de manejo de solo e da rotação de culturas adotado anteriormente ao cultivo do algodoeiro. O solo utilizado pelos autores citados, mais argiloso, associado à menor produtividade obtida, justifica o menor conteúdo de nutrientes em relação aos encontrados neste trabalho. Existe, pois, uma relação direta entre produtividade, acúmulo de matéria seca e de nutrientes (Possamai, 2003; Aquino et al., 2011). Solos mais argilosos (mais tamponados) podem condicionar menor conteúdo de nutrientes na planta (Bastos et al., 2010).

Constatou-se interação nos sistemas de cultivo x doses de P₂O₅ para o P, Ca, Mg, S e Mn exportados pela colheita (Tabela 2). Para esses nutrientes o conteúdo foi maior no cultivo irrigado (Tabela 3). Não houve efeito das doses de P sobre a exportação dos nutrientes citados no cultivo de sequeiro,

Tabela 3. Efeito do sistema de cultivo sobre o conteúdo de nutrientes na parte aérea aos 50 e 80 DAE e sua exportação pela colheita do algodoeiro

Sistema de cultivo	kg ha ⁻¹										
	N	P	K	Ca	Mg	S	Cu	Fe	Zn	Mn	B
Conteúdo de nutrientes na parte aérea - 50 DAE											
Irrigado	120,5	14,7	84,2	111,5	15,7	33,3	18,1	291,5	155,8	889,5	94,8
Sequeiro	101,1	12,3	78,9	90,2	13,9	30,7	11,6	228,4	93,9	595,3	84,1
F	11,01**	5,36*	0,93 ^{ns}	8,39**	3,30**	2,19 ^{ns}	22,02**	16,79**	21,59**	33,45**	4,37*
Conteúdo de nutrientes na parte aérea - 80 DAE											
Irrigado	230,6	25,2	135,2	226,8	31,9	56,0	43,1	444,0	229,9	1529,6	167,5
Sequeiro	168,0	14,8	107,2	175,3	26,5	45,3	27,0	355,1	160,6	823,5	131,3
F	26,27**	103,88**	9,57**	14,52**	7,31**	9,38**	51,75**	9,49**	63,41**	69,73**	16,72**
Nutrientes exportados pela colheita											
Irrigado	154,2	32,4	77,4	12,0	11,4	2,5	31,3	377,0	151,0	66,9	145,0
Sequeiro	101,8	20,4	45,3	7,7	7,0	1,7	22,2	275,0	106,1	46,8	90,0
F	77,02**	172,92**	121,36**	145,90**	194,72**	40,00**	93,76**	29,50**	68,02**	42,68**	25,60**

^{ns}, * - não significativa e significativa a 1 e 5%, respectivamente, a diferença entre as médias das variáveis nos cultivos irrigado e de sequeiro

enquanto no irrigado as doses de P incrementaram a exportação dos nutrientes. A aplicação do P e o suprimento adequado de água, concorrem para aumentar o crescimento da parte aérea, o número de capulhos por planta na colheita e, por conseguinte, a produtividade (Balkcom et al., 2007; Cordão Sobrinho et al., 2007). A maior produtividade aumenta a quantidade de nutrientes exportados pela colheita do algodoeiro (Possamai, 2003; Aquino, 2009; Aquino et al., 2011).

As quantidades exportadas de Cu, Zn e de B foram influenciadas apenas pelos sistemas de cultivo e foram maiores no irrigado (Tabela 3). As condições adequadas de umidade no cultivo irrigado favorecem o mecanismo de transporte de nutrientes por difusão. Elementos menos móveis, especialmente micronutrientes catiônicos, têm na umidade do solo uma das principais limitantes ao transporte e à quantidade absorvida pela planta (Oliveira et al., 2010).

A exportação de N e K foi maior no cultivo irrigado (Tabela 3). A aplicação de P_2O_5 também aumentou a quantidade exportada desses nutrientes (Tabela 4). A maior biomassa de folhas no cultivo irrigado aos 80 DAE (Figura 1) estava associada, possivelmente, à maior área foliar. A maior área foliar favorece maior transpiração, condição que aumenta a absorção de nutrientes como o N e K, transportados no solo, predominantemente por fluxo de massa (Novais & Mello, 2007; Oliveira et al., 2010).

Tabela 4. Efeito de doses de fósforo sobre a exportação de nutrientes pela colheita do algodoeiro

Doses de fósforo kg ha ⁻¹ de P ₂ O ₅	N	K	Fe g ha ⁻¹
	kg ha ⁻¹		
0	117,7 b ¹	51,6 b	288,8 b
50	126,5 ab	64,5 a	316,4 a
120	139,9 a	68,0 a	372,3 a
CV (%)	19,7	20,1	24,3

¹ Médias de cada variável seguidas de uma mesma letra não diferem entre si pelo teste Duncan, a 5% de probabilidade; para cada dose de P_2O_5 são apresentadas as médias dos cultivos sequeiro e irrigado

A exportação de Fe foi maior no cultivo irrigado (Tabela 3). A aplicação do P aumentou a exportação deste elemento (Tabela 4). Nunes et al. (2004) observaram aumento no fluxo difusivo de Fe com sua umidade e redução com a aplicação de P. Tal resultado pode ser devido à forte interação entre P e Fe e formação de compostos de baixa solubilidade (Vance et al., 2003); entretanto, neste trabalho o P incrementou a exportação de Fe, o que indica também maior absorção deste elemento. Se por um lado o P interage com o Fe, por outro favorece o crescimento do sistema radicular e este, por sua vez, reduz a distância para transporte do elemento no solo e aumenta a área de absorção. Elementos como o Fe, que são transportados predominantemente por difusão, têm a quantidade total absorvida muito influenciada pelo crescimento do sistema radicular (Novais & Mello, 2007).

No cultivo irrigado a aplicação do P resultou em maior número de capulhos por planta (Tabela 2). O P beneficia a produtividade do algodoeiro, dentre outros fatores, por aumentar o pegamento dos botões florais, o que resulta em maior número de capulhos por planta e produtividade da cultura (Silva et al., 1990).

O rendimento de fibra foi maior no cultivo irrigado e neste houve aumento desta variável com a aplicação do P (Tabela 2). O suprimento adequado de P concorre para a formação de fibras mais longas e de capulhos mais pesados, o que resulta em maior rendimento de fibra (Rosolem & Bastos, 1997; Girma et al., 2007).

A produtividade de algodão em caroço foi maior no cultivo irrigado nos três níveis de P_2O_5 testados. A resposta positiva da produtividade de algodão em caroço à aplicação do P ocorreu apenas no cultivo irrigado (Tabela 2). O maior número de capulhos por planta, com a aplicação do P no cultivo irrigado, contribuiu especialmente para a maior produtividade da cultura. A disponibilidade hídrica adequada e o suprimento de P resultam em maior pegamento de botões florais, notadamente naqueles situados nos ramos reprodutivos próximos ao ápice da planta (Aquino et al., 2011).

O incremento de produtividade médio do cultivo irrigado em relação ao de sequeiro foi de 44,6%. Cordão Sobrinho et al. (2007) encontraram incremento de até 339% na produtividade de algodão em caroço com o uso da irrigação. Fatores como bom preparo do solo e correção química que favoreçam o crescimento e o aprofundamento do sistema radicular no perfil do solo, distribuição de chuvas, época de semeadura, textura do solo, cultivar e adubação, influenciam na resposta da cultura à irrigação.

CONCLUSÕES

- Os níveis de P_2O_5 estudados não influenciaram o acúmulo de biomassa seca de parte aérea. A irrigação aumentou a biomassa seca de folhas, caule e de parte aérea, aos 80 DAE.
- A irrigação aumentou o conteúdo de N, P, K, Ca, Mg, S, Cu, Fe, Mn, Zn e B, na parte aérea tal como, também, sua exportação pela colheita.
- O suprimento de P aumentou a exportação de P, Ca, Mg, S e Mn no cultivo irrigado e de N, K e Fe, independentemente do sistema de cultivo.
- Houve incremento do número de capulhos por planta, rendimento de fibra e produtividade, com o uso da irrigação.
- O aumento de produtividade com a aplicação do P foi condicionado ao uso da irrigação.

AGRADECIMENTOS

À FAPEMIG, pelo auxílio financeiro à pesquisa; ao CNPq, pela bolsa de Doutorado concedida durante parte do Doutorado do primeiro autor; 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.
- Aquino, L. A. Parcelamento do fósforo na cultura do algodão irrigado em Neossolo Quartzarênico. Viçosa: UFV, 2009. 75p. Tese Doutorado
- Aquino, L. A.; Berger, P. G.; Oliveira, R. A.; Neves, J. C. L.; Lima, T. C.; Batista, C. H. Parcelamento do fertilizante fosfatado no algodoeiro em sistema de cultivo irrigado e de sequeiro. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.15, p.463-470, 2011.
- 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.
- Bezerra, J. R. C.; Azevedo, P. V. de; Silva, B. B. da; Dias, J. M. Evapotranspiração e coeficiente de cultivo do algodoeiro BRS-200 Marron, irrigado. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.14, p.625-632, 2010.
- 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.
- 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.
- Girma, K.; Teal, R. K.; Freeman, K. W.; Boman, R. K.; Raun, W. R. Cotton lint yield and quality as affected by applications of N, P and K fertilizers. *Journal of Cotton Science*, v.12, p.12-19, 2007.
- Goedert, W. J.; Lobato, E.; Wagner, E. Potencial agrícola da região dos cerrados brasileiros. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.15, p.1-17, 1980.
- Hulugalle, N. R.; Nehl, D. B.; Weaver, T. B. Soil properties, and cotton growth, yield and fibre quality in three cotton-based cropping systems. *Soil & Tillage Research*, v.75, p.2004, 2004.
- 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.
- Novais, R. F.; Mello, J. W. V. Relação solo-planta. In: Novais, R. F.; Alvarez, V. H.; Barros, N. F.; Fontes, R. L. F.; Cantarutti, R. B.; Neves, J. C. L. (ed.). Fertilidade do Solo. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. Cap.4, p.133-204.
- Novais, R. F.; Smyth, T. J. Fósforo em solo e planta em condições tropicais. Viçosa: UFV, 1999. 399p.
- Nunes, F. N.; Novais, R. F.; Silva, I. R.; Gebrim, F. O.; São José, J. F. B. Fluxo difusivo de ferro em solos sob influência de doses de fósforo e de níveis de acidez e umidade. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.28, p.423-429, 2004.
- 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*, v.10, p.76-88, 2006.
- Oliveira, E. M. M.; Ruiz, H. A.; Alvarez, V. H.; Ferreira, P. A.; Costa, F. O.; Almeida, I. C. C. Nutrient supply by mass flow and diffusion to maize plant in response to soil aggregate size and water potential. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.34, p.317-327, 2010.
- Possamai, J. M. Sistema de recomendação de corretivos e fertilizantes para o cultivo do algodoeiro. Viçosa: UFV, 2003. 91p. Dissertação Mestrado
- Rosolem, C. A.; Bastos, G. B. Deficiências minerais no cultivar de algodão IAC 22. *Bragantia*, v.56, p.377-387, 1997.
- 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, 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.