

**LEONARDO ANGELO DE AQUINO**

**PARCELAMENTO DO FÓSFORO NA CULTURA DO ALGODÃO IRRIGADO  
EM NEOSSOLO QUARTZARÊNICO**

**Tese apresentada à Universidade  
Federal de Viçosa, como parte das  
exigências do Programa de Pós-  
Graduação em Fitotecnia, para obtenção  
do título de *Doctor Scientiae*.**

**VIÇOSA  
MINAS GERAIS – BRASIL  
2009**

LEONARDO ANGELO DE AQUINO

PARCELAMENTO DO FÓSFORO NA CULTURA DO ALGODÃO IRRIGADO EM  
NEOSSOLO QUARTZARÊNICO

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

APROVADA: 25 de setembro de 2009.

---

Prof. Julio Cesar Lima Neves  
(Coorientador)

---

Prof. Rubens Alves de Oliveira  
(Coorientador)

---

Pesq. Rogério Faria Vieira

---

Prof. Valterley Soares da Rocha

---

Prof. Paulo Geraldo Berger  
(Orientador)

A Deus, pela vida, pela saúde e pela persistência para realizar esse trabalho.

Aos meus pais Vicente Paulo de Aquino e Maria do Carmo de Aquino, pelos ensinamentos. A todos da família que torceram pelo êxito de mais uma etapa da vida.

Aos meus irmãos João Paulo e Lavínia que mesmo distantes estão a torcer por bons momentos em minha vida.

Aos engenheiros agrônomos e professores do Brasil.

## **Dedico**

À minha esposa Rosiane, pelo carinho, atenção, companheirismo e por estar presente em minha vida. Parte mais importante para realizar o trabalho e para dividir as conquistas.

## **Ofereço**

## AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Viçosa, pela oportunidade de realização dos Cursos de Doutorado e de Mestrado em Fitotecnia e Graduação em Agronomia.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa de doutorado durante parte do Curso.

Ao professor orientador Paulo Geraldo Berger, pelo apoio, amizade e agradável convívio.

Aos professores Julio Cesar Lima Neves, do Departamento de Solos, Rubens Alves de Oliveira, do Departamento de Engenharia Agrícola e Valterley Soares da Rocha, do Departametno de Fitotecnia, pelas críticas e sugestões no trabalho e pela amizade.

Ao pesquisador da Epamig – CTZM, Dr. Rogério Faria Vieira, pelas valiosas sugestões nas técnicas de redação científica e pelas sugestões no trabalho.

À prezada amiga Tricia Costa Lima, pela ajuda em várias etapas do trabalho.

A todos os professores que contribuíram para minha formação acadêmica e pessoal.

Aos colegas do Instituto Federal do Norte de Minas Gerais – Campus Januária, professores e funcionários, que contribuíram de alguma forma para a execução do trabalho.

Aos estagiários dos Cursos de Agronomia, Irrigação e Drenagem e Técnico em Agropecuária do Instituto Federal do Norte de Minas Gerais – Campus Januária, Afonso, Alisson, Amanda, Carlos Henrique, Dayanne, Laís, Luís, Tarcísio, Tatiane, Valdinei, Valdeir e Vinícius, pelo apoio na tomada de dados e condução dos experimentos.

A todos os amigos e colegas dos tempos de graduação e pós – graduação na Universidade Federal de Viçosa.

A Iharabras na pessoa do Engenheiro Agrônomo Daniel Zanetti, pela concessão de fitossanitários. À MDM Sementes de Algodão, pela doação das sementes utilizadas nos experimentos.

A todos os que de alguma forma contribuíram para o alcance desse objetivo e realização de mais um sonho.

## **BIOGRAFIA**

Leonardo Angelo de Aquino, filho de Vicente Paulo de Aquino e Maria de Carmo Aquino, nasceu em Barbacena - MG, a 01 de fevereiro de 1983.

Cursou o segundo grau na Escola Agrotécnica Federal de Barbacena, obtendo diploma de Técnico em Agropecuária em dezembro de 2000.

Ingressou no curso de Agronomia da Universidade Federal de Viçosa (UFV) em abril de 2001, graduando-se Engenheiro Agrônomo em julho de 2005.

Em agosto de 2005, iniciou o Curso de Mestrado em Fitotecnia na UFV, submetendo-se à defesa de tese em 25 de setembro de 2006.

Em outubro de 2006, iniciou o Curso de Doutorado no Departamento de Fitotecnia da UFV, submetendo-se à defesa de tese em 25 de setembro de 2009.

Em setembro de 2007, foi aprovado em Concurso Público para professor do Ensino Básico, Técnico e Tecnológico no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Norte de Minas Gerais – Campus Januária, iniciando as atividades docentes na Instituição em julho de 2008.

## SUMÁRIO

RESUMO .....	vii
ABSTRACT .....	ix
<b>1 - Introdução Geral .....</b>	<b>1</b>
1.1 – Referências Bibliográficas.....	8
<b>2 - Absorção de Fósforo e Produtividade do Algodoeiro Irrigado e de Sequeiro com o parcelamento da Adubação Fosfatada em Neossolo Quartzarênico .....</b>	<b>12</b>
2.1 - Resumo.....	12
2.2 - Abstract .....	12
2.3 - Introdução .....	13
2.4 - Material e Métodos .....	15
2.5 - Resultados e Discussão .....	19
2.6 - Referências Bibliográficas .....	28
<b>3 - O Parcelamento da Adubação Fosfatada Aumenta a Absorção de Fósforo e a Produtividade do Algodoeiro Irrigado em Neossolo Quartzarênico?.....</b>	<b>31</b>
3.1 - Resumo.....	31
3.2 - Abstract .....	31
3.3 - Introdução .....	32
3.4 - Material e Métodos .....	34
3.5 - Resultados e Discussão .....	37
3.6 - Referências Bibliográficas .....	46
<b>4 – Fósforo Absorvido e Produtividade do Algodoeiro em Resposta à Granulometria e à Fonte de Fósforo Aplicado em Cobertura em Neossolo Quartzarênico .....</b>	<b>48</b>
4.1 - Resumo.....	48
4.2 - Abstract .....	48
4.3 - Introdução .....	49
4.4 - Material e Métodos .....	51
4.5 - Resultados e Discussão .....	55
4.6 - Referências Bibliográficas .....	62
<b>5 - Conclusões Gerais .....</b>	<b>65</b>
<b>6 - Apêndice .....</b>	<b>66</b>
6.1 – Resultados de análise química e física do solo da área experimental do primeiro experimento. ....	66
6.2 – Resultados de análise química e física do solo da área experimental no segundo e terceiro experimento .....	67
6.3 - Resumo dos dados de manejo da irrigação no cultivo irrigado .....	68
6.4 – Registro fotográfico das principais etapas da condução do experimento em campo. ....	69

## RESUMO

AQUINO, Leonardo Angelo de, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, setembro de 2009. **Parcelamento do fósforo na cultura do algodão irrigado em Neossolo Quartzarênico**. Orientador: Paulo Geraldo Berger. Co-Orientadores: Julio Cesar Lima Neves e Rubens Alves de Oliveira.

Nos solos de cultivo do algodoeiro no Brasil, há predomínio na fração argila de minerais com alta capacidade de fixar o fósforo em formas não-lábeis. Técnicas adequadas de aplicação de fertilizantes fosfatados são essenciais para a obtenção de produtividades satisfatórias. Objetivou-se avaliar a aplicação parcelada do fertilizante fosfatado no algodoeiro, em comparação à aplicação tradicional em semeadura, sobre a absorção de P, o teor de nutrientes na folha índice e a produtividade. Três experimentos foram instalados num delineamento em blocos casualizados, com três repetições. Os experimentos foram conduzidos em solo de textura arenosa, classificado de Neossolo Quartzarênico. O cultivar utilizado foi o Delta Opal. No primeiro experimento, os tratamentos consistiram de duas doses de  $P_2O_5$  (50 e 120 kg ha<sup>-1</sup>) x quatro formas de aplicação parcelada PS, P1, P2 e P3 (100/0; 75/25; 50/50; 25/75 correspondentes à porcentagem da dose de  $P_2O_5$  aplicada em semeadura e aos 35 dias após a emergência (DAE), respectivamente) x dois sistemas de cultivo (irrigado e sequeiro) e dois tratamentos adicionais (não aplicação do P no cultivo sequeiro e irrigado), perfazendo dezoito tratamentos. No segundo experimento, cultivo irrigado, os tratamentos consistiram de quatro doses de  $P_2O_5$  (30, 60, 120 e 180 kg ha<sup>-1</sup>) x três formas de aplicação parcelada. Essas formas foram P1, P2 e P3 (80/20, 60/40, 40/60, correspondentes às percentagens da dose de  $P_2O_5$  aplicadas em semeadura e aos 35 DAE, respectivamente), mais dois tratamentos com a aplicação do P em semeadura (60 e 120 kg ha<sup>-1</sup> de  $P_2O_5$ ) e um sem aplicação do P, perfazendo quinze tratamentos. O terceiro experimento, cultivo irrigado, constou de sete tratamentos: seis formas de aplicação parcelada da dose 60 kg ha<sup>-1</sup> de  $P_2O_5$ , mais um tratamento sem P. As formas de aplicação do fertilizante foram: PS (P em semeadura); P1, P2 e P3 (80/20; 60/40; 40/60 % da dose de  $P_2O_5$  aplicada, respectivamente, na semeadura e aos 35 DAE); além do tratamento P2 com a parcela do P em cobertura via MAP (P2 – MAP) ou via superfosfato triplo em pó (P2 – STP). A parcela aplicada de P em semeadura de todos os tratamentos e a aplicada em cobertura em P1, P2 e P3 foi via superfosfato triplo granulado. Nos dois primeiros experimentos, a única fonte de P foi o superfosfato triplo granulado. Em todos os experimentos, a parcela de P em cobertura foi aplicada

incorporada na profundidade de 10 cm a 20 cm da fileira de plantas. Avaliaram-se a produção de matéria seca; o teor e conteúdo de P nas folhas, ramos e estruturas reprodutivas aos 35, 50 e 80 DAE; o teor de nutrientes na quinta folha completamente expandida do ápice para a base (folha índice) aos 80 DAE; e o número de capulhos por planta, massa de capulho e produtividade de algodão em caroço na colheita. A aplicação parcelada do fertilizante fosfatado, de modo geral, não influenciou o acúmulo de matéria seca e conteúdo de P na parte aérea aos 50 e 80 DAE. No primeiro experimento, houve resposta às doses de P sobre a produtividade e absorção de P, apenas no cultivo irrigado. A irrigação aumentou o número de capulhos por planta e a produtividade do algodão em caroço. O teor de nutrientes na folha índice foi maior no cultivo de sequeiro, exceto os de N e P. No segundo experimento, houve redução da produtividade de algodão em caroço no parcelamento P3 em comparação com a aplicação tradicional ou aos parcelamentos P1 e P2. Os teores de nutrientes, exceto o de P, não foram afetados pelo parcelamento do fertilizante fosfatado. Houve resposta às doses de P para a massa de parte aérea seca aos 35 e 50 DAE e de estruturas reprodutivas secas aos 80 DAE. Houve incremento do P absorvido e da produtividade de algodão em caroço, com o aumento das doses de P. As produtividades máximas foram obtidas com as doses de 125, 180 e 180 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, nos parcelamentos P1, P2 e P3, respectivamente. No terceiro experimento, os teores de nutrientes na folha índice não foram influenciados pelos parcelamentos, exceto o teor de P, que foi maior no tratamento P2 – MAP. Houve incremento do P absorvido aos 50 DAE com as formas de aplicação P2 – MAP e P3. A aplicação do P aumentou a massa de capulho, o número de capulhos por planta e a produtividade de algodão em caroço. A forma de aplicação P3 reduziu a produtividade de algodão em caroço. Conclui-se que, em Neossolo Quartzarênico, o parcelamento do fertilizante fosfatado não alterou o teor de nutrientes na folha índice e não aumentou a absorção de fósforo e a produtividade de algodão em caroço.

## ABSTRACT

AQUINO, Leonardo Angelo de, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, September of 2009. **Phosphorus parceling in the cotton irrigated in Quartzanic Neossoil.** Advisor: Paulo Geraldo Berger. Co-Advisors: Julio Cesar Lima Neves and Rubens Alves de Oliveira.

In the soils of cotton cultivation in Brazil, there is predominance in the fraction mineral clay with high capacity to fix the phosphorus in occluded phosphorus forms. Adequate techniques of phosphates fertilizers application are essential for the attainment of satisfactory yields. The objective was to evaluate the parceled application of the fertilizer phosphate in cotton, in comparison to the traditional application in sowing, on the absorption of P, the content of nutrients in the leaf index and the productivity. Three experiments were carried out in a random delineation, with three replicates. The experiments were conducted in soil of arenaceous texture, classified as Quartzanic Neossoil. The cultivar used was the Opal Delta. In the first experiment, treatments had consisted of two doses of  $P_2O_5$  (50 and 120 kg ha<sup>-1</sup>) x four ways of parceling application PS, P1, P2 and P3 (100/0; 75/25; 50/50; 25/75 correspondents to the percentage of the dose of  $P_2O_5$  applied in sowing and to the 35 days after the emergence (DAE), respectively) x two systems of culture (irrigated and dry land) and two additional treatments (not application of P in the culture on the dry land irrigated), totalizing eighteen treatments. In the second experiment, irrigated culture, the treatments consisted of four doses of  $P_2O_5$  (30, 60, 120 and 180 kg ha<sup>-1</sup>) x three forms of parceled application. These had been: P1, P2 and P3 (80/20, 60/40, 40/60, correspondents to the percentages of the dose of  $P_2O_5$  applied in sowing and to the 35 DAE, respectively), and two more treatments with the application of the P in sowing (60 and 120 kg ha<sup>-1</sup> of  $P_2O_5$ ) and one treatment without P application, totalizing fifteen treatments. The third experiment, irrigated culture, consisted of seven treatments: six forms of parceled application of the dose 60 kg ha<sup>-1</sup> of  $P_2O_5$ , plus one treatment, without P. The fertilizer modes of application were: PS (P in sowing); P1, P2 and P3 (80/20; 60/40; 40/60 % of the applied dose of  $P_2O_5$ , respectively in the sowing and to the 35 DAE); besides the P2 treatment with the parcel of P in covering via MAP (P2 - MAP) or via triple superphosphate in powder (P2 - STP). The parcelment applied of P in sowing of all the treatments and that applied during covering in P1, P2 and P3 was via triple superphosphate granulated. In the two first experiments, the only source of P was the granulated triple superphosphate. In all experiments the parcelment of P in covering was

applied incorporated in the depth of 10 cm, of 20 cm of plants row. It was evaluated the dry matter production, content and quantity of P in the leaves, branches and reproductive structures in the 35, 50 and 80 DAE; the quantity of nutrients in the fifth leaf completely expanded from the apex to the base (leaf index) on the 80th DAE and, number of bolls per plant, mass of boll and productivity of cotton in boll in the harvest. The parceled application of the phosphate fertilizer, in a general way, did not influence the dry matter accumulation and P content in the aerial part at the 50 and 80 DAE. In the first experiment, there was response to the doses of P on the productivity and absorption of P, only in the irrigated culture. The irrigation increased the number of bolls per plant and the productivity of the cotton in boll. The nutrients quantity in the leaf index was bigger in the dry land culture, except for N and P. In the second experiment, it presented a reduction of productivity of cotton in boll in the parcelment P3 in comparison to the traditional application or to the parcelments P1 and P2. The nutrients quantity, except of P, did not have been affected by the parcel of the phosphate fertilizer. It had responded to the doses of P for the dry mass of aerial part at the 35 and 50 DAE and of dry reproductive structures at the 80 DAE. It had increment on P absorbed and the productivity of cotton in boll, with the increase of the doses of P. The maximum productivity was obtained with the doses of 125, 180 and 180 kg ha<sup>-1</sup> of P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, in the parcels P1, P2 and P3, respectively. In the third experiment, the nutrients quantity in the leaf index did not have been influenced by the parcelment, except the quantity of P, which was bigger in the treatment P2 - MAP. There was an increment of absorbed P at the 50 DAE with the mode of application P2 - MAP and P3. The P application increased the dry mass of boll, number of bolls per plant and productivity of cotton in boll. The P3 form of application reduced the productivity of cotton in boll. The conclusion is that, in Quartzanic Neossoil, the parcelment of phosphate fertilizer did not modify the nutrients quantity in the leaf index and it did not increase the phosphorus uptake and the productivity of cotton in boll.

## 1 - INTRODUÇÃO GERAL

A cultura do algodão tem potencial para a indústria têxtil, alimentícia e para a produção de biodiesel, a partir do óleo extraído de suas sementes (FERREIRA et al., 2005). Na safra de 2007/08, foi cultivada área de 1,077 milhão de hectares, com produtividade média de algodão em caroço de 3812 kg ha<sup>-1</sup>. Na safra de 2008/09, foram cultivados 856 mil hectares, com produtividade média de 3727 kg ha<sup>-1</sup> (CONAB, 2009).

Aproximadamente 20 % da área da região dos cerrados é ocupada pelos Neossolos Quartzarênicos (GOEDERT et al., 1980), solos com menos de 150 g kg<sup>-1</sup> de argila. Nos últimos anos, tem ocorrido expansão das áreas de soja e de algodão em solos de textura média e arenosa devido ao menor custo da terra e à escassez de áreas de solos argilosos (SANTOS, 2006). 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.

Dentre as culturas anuais, o algodoeiro (*Gossypium hirsutum*) destaca-se pela tolerância relativamente alta à seca. Isso advém de seus ajustes fisiológicos e de sua capacidade de crescimento e plasticidade radicular (ROSOLEM, 2006). 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. 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 (BEZERRA et al., 1999). A deficiência hídrica pode reduzir o diâmetro do caule, a altura das plantas e, conseqüentemente, a produtividade (CORDÃO SOBRINHO et al., 2007).

A cultura do algodão requer, durante seu ciclo de vida, entre 650 e 900 mm de água. A demanda hídrica depende das práticas culturais, da disponibilidade de água no solo, da cultivar e da demanda evapotranspirométrica. Geralmente, na fase inicial até o aparecimento dos primeiros botões florais, o requerimento hídrico é inferior a 2 mm d<sup>-1</sup>. Após essa fase, com o rápido crescimento vegetativo, aumenta-se o consumo de água que pode ultrapassar 8 mm d<sup>-1</sup> (ROSOLEM, 2006).

O fornecimento adequado de água favorece a maior retenção de botões florais, especialmente nos primeiros ramos reprodutivos, além de aumentar a massa das sementes (NUTI et al., 2006; BALKCOM et al., 2007). Na irrigação do algodoeiro, destacam-se os sistemas de irrigação por sulcos e por aspersão (BRUGNERA, 2007).

Cordão Sobrinho et al. (2007) estudaram reguladores de crescimento e lâminas de irrigação no algodoeiro. Verificaram acréscimos de até 339 % na produtividade com a irrigação. Não só a produtividade, mas também as características tecnológicas da fibra podem ser melhoradas pela irrigação, como, por exemplo, a uniformidade e comprimento da fibra (NUNES FILHO et al., 1998; LUZ et al., 2003).

Oliveira et al. (1999) verificaram que -200 kPa foi o potencial de água no solo que proporcionou maior produtividade do algodoeiro. No entanto, em solos com baixos teores de P disponível, potenciais de água no solo adequados do ponto de vista de manejo de irrigação podem ser baixos para a adequada difusão de P para as raízes (NOVAIS e SMYTH, 1999; MIOLA et al., 2000).

Em estudo sobre transporte de P em seis solos com teor de argila de 50 a 570 g kg<sup>-1</sup>, 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) verificaram 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 houve redução da água no solo, especialmente nas menores doses de P.

Pessoa et al. (1996) verificaram, na cultura do feijão, redução de 20 % no teor de P nas folhas no florescimento e de 58 % no total de P absorvido pela cultura, quando o feijoeiro foi cultivado no sistema de sequeiro em comparação ao irrigado. O mesmo efeito foi observado quando se comparou a produtividade do feijoeiro irrigado ao irrigado com déficit hídrico. A irrigação com déficit hídrico reduziu a produtividade, especialmente nas menores doses de P (MIRANDA et al., 2000).

A pobreza química dos solos do cerrado onde o algodoeiro é cultivado em maior escala, especialmente a de P, pode comprometer o sucesso da atividade, se medidas adequadas de correção da carência do elemento não forem tomadas. Na maior parte dos solos de cultivo do algodoeiro, há predomínio na fração argila de minerais com baixa CTC e alta capacidade de fixar o P em formas não-lábeis. O fósforo torna-se indisponível pela rápida formação de complexos insolúveis com cátions, especialmente alumínio e ferro em condições ácidas (VANCE et al., 2003). A forte ligação do P com o solo reduz sua disponibilidade para as plantas (STEFANUTTI et al., 1995; NOVAIS e SMYTH, 1999).

Os principais sintomas de deficiência de P no algodoeiro caracterizam-se por atraso no desenvolvimento, coloração verde escura intensa 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 e BASTOS, 1997; SILVA, 1999). Há formação de fibras imaturas, capulhos menores e leves, que não se abrem. Ademais, o prolongamento do ciclo de vida da cultura e produção de fibras de qualidade inferior, especialmente com relação ao comprimento (STAUT e KURIHARA, 2001; ZANCARO e TESSARO, 2006). Silva et al. (1990) avaliaram o modo e a época de aplicação de fertilizante fosfatado na produção do algodoeiro, e observaram que, além do aumento da produtividade, o P promoveu incrementos na massa dos capulhos, das sementes e do comprimento da fibra.

O fósforo é um dos elementos chave no metabolismo energético e biossíntese de ácidos nucleicos e membranas, tendo importante papel no balanço de carbono e na regulação de várias enzimas (RAUSSCH e BUCHER, 2002; VANCE et al., 2003). A ocorrência de deficiência em P induz a uma série de respostas morfológicas, fisiológicas, bioquímicas e moleculares nas plantas. As plantas utilizam duas estratégias para se desenvolver em condições limitantes de nutrientes: aumento da eficiência de uso e da aquisição (RAGHOTHAMA, 1999).

O aumento da eficiência de uso envolve redução da taxa de crescimento, aumento do crescimento por unidade de P absorvido, remobilização interna de Pi, modificações no metabolismo do carbono por rotas alternativas e rotas respiratórias alternativas. Por outro lado, a maior aquisição inclui a produção e excreção de fosfatases, exsudação de ácidos orgânicos, maior crescimento da raiz com modificação da arquitetura do sistema radicular, expansão da superfície da raiz com desenvolvimento de raízes finas e aumento da expressão de genes para transportadores de Pi (RAGHOTHAMA, 1999; RAUSCH e BUCHER, 2002; SHENOY e KALAGUDI, 2005; LAMBERS et al., 2006).

O aumento da eficiência na utilização de fertilizantes, especialmente os fosfatados, é necessário tanto no aspecto econômico para reduzir o custo de produção, como também no âmbito ambiental, para reduzir o uso das reservas naturais do nutriente.

Para reduzir a porção da dose de P aplicada que é fixada, uma das opções é aumentar a concentração do nutriente num determinado volume de solo (localização). Assim, reduz-se o volume total de solo fertilizado em contato com o P aplicado (PRADO et al., 2001; BULL et al., 2004). Entretanto, a localização pode reduzir o crescimento do sistema radicular e causar deficiência de elementos como Fe e Cu (NOVAIS et al., 1985) e de N, que tem a absorção dependente da disponibilidade de P (ALVES et al., 1998).

Em estudo em que se avaliou o desenvolvimento radicular do algodoeiro em resposta à localização do fertilizante, a aplicação do fertilizante muito próximo às sementes resultou em menor comprimento de raízes e em menor absorção de minerais. Aos 18 dias após a emergência, observou-se correlação positiva entre taxa de crescimento radicular e teor de N, correlação não observada com o teor de P (SOUZA et al. 2007). A aplicação do fertilizante muito próxima à semente pode levar ao desenvolvimento restrito do sistema radicular em volume de solo, comprometendo a absorção de nutrientes, especialmente de N que é requerido em maiores quantidades.

Prado et al. (2001), em solo com alto fator capacidade de P, estudaram doses de P e modos de aplicação a lanço, sulco simples e sulco duplo na cultura do milho, observaram incremento de até 4,4 t ha<sup>-1</sup> e maior teor de P nas folhas com a dose de 135 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> em sulco duplo e efeito nulo com a aplicação a lanço. Silva et al. (1990) estudaram a resposta do algodoeiro à adubação fosfatada durante seis anos com a aplicação do adubo fosfatado solúvel no sulco de semeadura, em fosfatagem única e fosfatagem parcelada com superfosfato simples. Observaram maior incremento de produtividade e da qualidade da fibra com a aplicação no sulco de semeadura, especialmente nos primeiros anos de cultivo em que a disponibilidade de P era muito baixa.

A eficiência da localização no aumento da eficiência de absorção depende do teor de P do solo e do fator capacidade de P. Para solos com alta disponibilidade de P, a localização tem menor efeito no aumento da eficiência de absorção, em comparação aos solos com baixa disponibilidade (BÜLL et al., 2004).

O uso de fontes de P de menor solubilidade é outra forma de aumentar a eficiência de recuperação do P aplicado via fertilizantes pelas plantas. Com o uso de fontes de menor solubilidade, é possível sincronizar a disponibilização do elemento com a demanda da planta. Isso resulta em menor quantidade de P na solução do solo e em menos P fixado. Todavia, em culturas com demanda inicial de P elevada, como o algodoeiro, o uso de fontes menos solúveis pode não ser satisfatória por não atender à demanda inicial pelo nutriente (NAKAYAMA et al.; 1998; NOVAIS e SMYTH, 1999; RESENDE et al., 2006a; 2006b).

Prochnow et al. (2006) observaram maior eficiência agronômica de fontes de menor solubilidade de P na cultura do milho, especialmente quando aplicadas em menores doses e em solos com maior fator capacidade de P. Entretanto, independentemente do fator capacidade de P e das doses, houve menor produção de biomassa e absorção total de P com o uso de fontes de menor solubilidade. Isso se deve

à demanda inicial elevada pelo P, nutriente essencial para o desenvolvimento do sistema radicular (GRANT et al., 2001). Sarmiento et al. (2001) observaram que as fontes mais solúveis promoveram maior produção de massa de alfafa seca, comparativamente às fontes de menor solubilidade. Entretanto, num terceiro cultivo, a produção de biomassa do tratamento com a fonte de menor solubilidade foi superior à fonte de maior solubilidade.

De modo geral, as fontes de P de maior solubilidade proporcionam maior resposta no ano de aplicação. Por outro lado, as fontes de menor solubilidade apresentam maior efeito residual, proporcionando, no longo prazo, produtividades iguais ou superiores às fontes solúveis (HOROWITZ e MEURER, 2003; RESENDE et al., 2006a, 2006b). A maior produção nos primeiros anos da fonte solúvel em comparação às de menor solubilidade está relacionada à demanda inicial elevada por P da maioria das plantas e à reação de solubilização lenta das fontes de menor solubilidade (NOVAIS e SMYTH, 1999; SARMENTO et al., 2001; RESENDE et al., 2006b).

O processo de granulação de fertilizantes fosfatados funciona de forma semelhante à localização, pois diminui o contato do P com o solo, favorecendo a absorção pela planta (CORRÊA et al., 2005). O processo de granulação depende da fonte de P. Em estudo em que foi utilizado o termofosfato magnésiano (yoorin) em pó, grosso e granulado, observou-se maior produção total de massa de parte aérea seca após sete cultivos de feijão, milho e trigo, com os maiores tamanhos da partícula do fertilizante fosfatado (yoorin) (STEFANUTTI et al., 1994; 1995). A maior produção de massa de parte aérea seca foi confirmada pela maior disponibilidade de P no solo, avaliada pelos extratores Bray – 1, Mehlich – 1 e Resina, ao longo dos sete cultivos. Para fontes de P de menor solubilidade, a granulação também é eficaz em aumentar a porção de P absorvida pela planta em relação ao total aplicado. Entretanto, para fosfatos pouco reativos, a menor granulometria pode aumentar a eficiência agrônômica, especialmente para plantas de maior demanda inicial (HOROWITZ e MEURER, 2003).

O processo principal de transporte de P no solo é a difusão (NOVAIS e SMYTH, 1999). A manutenção de boa difusão de P no solo depende da sua umidade (RUIZ, 1986). Entretanto, a mesma pode ser influenciada pelo cátion acompanhante do  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  (NOVAIS e SMYTH, 1999). O fluxo difusivo de P com a aplicação do monoamônio fosfato (MAP) foi maior quando comparado com a aplicação do superfosfato triplo. Em solo arenoso, o aumento foi de 20 % na difusão de P e chegou a 125 % no argiloso (VILLANI, 1995). Os cátions acompanhantes mais móveis no solo,

$\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$  e  $\text{NH}_4^+$ , conferem maior mobilidade ao P, comparativamente ao menos móvel, como o  $\text{Ca}^{2+}$  (NOVAIS e SMYTH, 1999).

A formação de P não-lábil a partir do P lábil é muito rápida e de reversibilidade pequena ou inexistente no curto prazo (NOVAIS e SMYTH, 1999). Gonçalves et al. (1985) aplicaram  $50 \text{ mg kg}^{-1}$  de P em solos de diferentes classes e texturas, pobres em P. Demonstraram que, em média, após 192 h de contato do P com o solo, mais de 90 % do P aplicado foi adsorvido.

Alguns trabalhos de pesquisa foram desenvolvidos para avaliar o efeito do parcelamento ao longo de anos de cultivos sobre a produtividade das culturas, como algodão e milho. Nesses trabalhos foram avaliados o P disponível no solo, o teor e o conteúdo de P na parte aérea. Em algodão, a aplicação de  $726 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$  parcelada ao longo de seis anos no sulco de semeadura ou no primeiro e quarto ano a lanço proporcionou maior produtividade e efeitos positivos na qualidade da fibra quando comparada à aplicação a lanço em dose única no primeiro ano (SILVA et al., 1990). Na cultura do milho, a aplicação parcelada ao longo de três anos, 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 desse período, quando comparada com a aplicação em dose única no primeiro ano (RESENDE et al., 2006a; 2006b).

Pesquisa realizada com a cultura da braquiária (*Brachiaria brizantha* cv. Marandu), na qual se avaliou a eficiência da fertilização nitrogenada associada ao parcelamento do superfosfato simples e do cloreto de potássio, indicou que o parcelamento do superfosfato simples foi mais importante para aumento da produção de forragem que o parcelamento das fontes de N e K (OLIVEIRA et al., 2003). Tal resposta pode estar relacionada à menor quantidade da fonte solúvel em contato com o solo e, por consequência, melhor aproveitamento pela forrageira com a aplicação parcelada (NOVAIS e SMYTH, 1999).

Diversos trabalhos realizados por safras consecutivas, em que se avaliou a aplicação em dose única ou parcelada, indicam que a aplicação parcelada proporciona melhores resultados (SILVA et al., 1990; OLIVEIRA et al., 2003; RESENDE et al., 2006a; 2006b). Todavia, não existem trabalhos com a avaliação do parcelamento do fertilizante fosfatado dentro de um ciclo da cultura, como há para elementos mais móveis no solo como o N e o K (BARBOSA FILHO et al., 2005). O parcelamento do N e K é justificado pela sua alta mobilidade no solo, pois estão sujeitos à perda por lixiviação e, no caso do N, também por volatilização e desnitrificação.

O parcelamento de um nutriente visa a sincronizar a disponibilidade de nutrientes no solo com a fase de maior demanda. O não parcelamento em algumas situações poderia promover aumento das quantidades de N e K na solução do solo, propensas aos processos de perda (lixiviação, volatilização ou desnitrificação).

No algodoeiro, a demanda por P é alta, desde o início da formação dos botões florais até a maturação, o que em média perdura cem dias (FRYE e KAIRUZ, 1990). Assim, o parcelamento do P pode contribuir para diminuir a fixação do P ao solo. Para isso, é necessário o fornecimento de quantidade suficiente de P em semeadura para garantir o adequado desenvolvimento inicial, especialmente do sistema radicular (SOUZA et al., 2007). O restante da dose poderia ser aplicada posteriormente, em momento compatível com o desenvolvimento do sistema radicular, o que poderia reduzir a quantidade de P fixada pelo solo.

Os resultados de pesquisas indicam que a água do solo tem grande influência sobre a difusão de P. Por isso, é importante o estudo em conjunto de doses de P e irrigação na cultura do algodão. O parcelamento do P, se viável, como forma de reduzir a quantidade de P fixada, pode ter efeito diferente em áreas cultivadas no regime de sequeiro em relação àquelas com irrigação.

O parcelamento do P, ao diminuir o tempo de contato da fonte fosfatada com o solo, poderá contribuir para a maior recuperação do P aplicado. 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 parcelamento do P.

Objetivou-se avaliar com esta pesquisa:

1. O efeito da aplicação parcelada do fósforo, em comparação à aplicação tradicional em semeadura, sobre a absorção de fósforo, teor de nutrientes na folha índice (quinta folha completamente expandida) e produtividade do algodoeiro, nos cultivos de sequeiro ou irrigado em Neossolo Quartzarênico;
2. O efeito da granulometria e da fonte de fósforo utilizada na aplicação em cobertura, sobre a absorção desse elemento, teor de nutrientes na folha índice e produtividade do algodoeiro irrigado em Neossolo Quartzarênico.

## 1.1 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, V.M.C.; MAGALHÃES, J.V. NOVAIS, R.F.; BAHIA FILHO, A.F.C.; OLIVEIRA, C.A.; FRANÇA, C.C.M. Localização de fósforo e de nitrogênio afetando os parâmetros cinéticos de absorção de nitrogênio em milho. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, 10(3): 197 – 201, 1998.

BARBOSA FILHO, M.P.; FAGERIA, N.K.; SILVA, O.F. Fontes, doses e parcelamento da adubação nitrogenada em cobertura para feijoeiro comum irrigado. **Ciência e Agrotecnologia**, 29(1): 69-76, 2005.

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**, 11: 2-11, 2007.

BEZERRA, J.R.C.; AMORIN NETO, M.S.; LUZ, M.J.S.; BARRETO, A.N.; SILVA, L.C. Irrigação do algodoeiro herbáceo. In: BELTRÃO, N.E.M. (Ed). **O agronegócio do algodão no Brasil**. Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 1999. vol 2, p. 617-682.

BRUGNERA, P. Irrigação do algodoeiro no Cerrado Baiano. In: VI CONGRESSO BRASILEIRO DE ALGODÃO, 2007, Uberlândia. **Anais...** Campina Grande: EMBRAPA-CNPA, 2007. 4 p.

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**, 61(5): 516-521, 2004.

CONAB, 2009. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**. Companhia Nacional de Abastecimento. – Brasília: Conab, 2009. 39 p.

CORDÃO SOBRINHO, F.P.; FERNANDES, P.D.; BELTRÃO, N.E.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**, Campina Grande, 11(3): 284-292, 2007.

CORRÊA, R.M.; NASCIMENTO, C.W.A.; SOUZA, S.K.; FREIRE, F.J.; SILVA, G.B. Gafsa rock phosphate and triple superphosphate for dry matter production and P uptake by corn. **Scientia Agricola**, 62(2): 159-164, 2005.

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**, 10(4): 828-835, 2006.

FERREIRA, G.B et al. **O estado atual do agronegócio do algodão no Brasil: histórico, situação atual e perspectiva de expansão, especialmente no Nordeste**. EMBRAPA ALGODÃO: Campina Grande, 2005. 50p. (Embrapa Algodão. Documentos, 143).

FRYE, I.A.A.; KAIRUZ, I.A.G. **Manejo de suelos y uso de fertilizantes**. In: Federación Nacional de Algodoeiros. Bases técnicas para el cultivo del algodón em Colombia. Bogotá: Guadalupe, 1990. p . 133-202.

GOEDERT, W.J.; LOBATO, E.; WAGNER, E. Potencial agrícola da região dos cerrados brasileiros. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 15: 1-17, 1980.

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.

GRANT,C.A.; TOMASIEWICZ, D.J.; FLATEN, D.N.; SHEPPARD, S.C. A importância do fósforo no desenvolvimento inicial da planta. **Informações Agronômicas**, Viçosa, 95: 1-5, 2001.

HOROWTIZ, N.; MEURER, E.J. Eficiência de dois fosfatos naturais farelados em função do tamanho da partícula. **Ciência Rural**, 33(1): 41-47, 2003.

LAMBERS, H.; SHANE, M.W.; GRAMER, M.D.; PEARSE, S.J.; VENEKLAAS, E.J. Root structure and functioning for efficient acquisition of phosphorus: matching morphological and physiological traits. **Annals of Botany**, 98: 693-713, 2006.

LUZ, M.J.S.; BEZERRA, J.R.C.; PEREIRA, J.R.; SANTANA, J.C.F.; DIAS, J.M. Efeito da antecipação da ultima irrigação nas características tecnológicas da fibra do algodoeiro herbáceo, cv BRS 201. Campina Grande: Embrapa-CNPA, 2003. 3 p. (**Comunicado Técnico 180**).

MIRANDA, L.N.; AZEVEDO, J.A.; MIRANDA, J.C.C.; GOMES, A.C. Produtividade do feijoeiro em resposta a adubação fosfatada e a regimes de irrigação em solo de Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 35(4): 703-710, 2000.

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**, 30(4): 721-723, 2000.

NAKAYAMA, L.H.I.; CACERES, N.T.; ALCARDE, J.C.; MALAVOLTA, E. Eficiência relativa de fontes de fósforo de diferentes solubilidades na cultura do arroz. **Scientia Agricola**, 55(2): 183-190, 1998.

NOVAIS, R.F.; FERREIRA, R.P.; NEVES, J.C.L.; BARROS, N.F. Absorção de fósforo e crescimento do milho com sistema radicular parcialmente exposto a fonte de fósforo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 20: 749 – 754, 1985.

NOVAIS, R.F.; SMYTH, T.J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. Viçosa: UFV, 1999. 399 p.

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**, Campina Grande, 2(3): 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**, 10: 76-88, 2006.

OLIVEIRA, F.A.; CAMPOS, T.G.S.; OLIVEIRA, B.C. Efeito de tensões de água no solo sobre o rendimento do algodoeiro herbáceo. **Pesq. Agropec. Bras.** Brasília, 34(10): 1905-1911, 1999.

OLIVEIRA, P.P.A.; TRIVELIN, P.C.O.; OLIVEIRA, W.S. Eficiência da fertilização nitrogenada com ureia (<sup>15</sup>N) em *Brachiaria brizantha* cv. Marandu associada ao parcelamento de superfosfato simples e cloreto de potássio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, 27: 613-620, 2003.

PESSOA, A.C.S.; KELLING, C.R.S.; POZZEBON, E.J.; KÖNIG, O. Concentração e acumulação de nitrogênio, fósforo e potássio pelo feijoeiro cultivado sob diferentes níveis de irrigação. **Ciência Rural**, 26(1): 69-74, 1996.

PRADO, R.M.; FERNANDES, F.M.; ROQUE, C.G. Resposta da cultura do milho a modos de aplicação e doses de fósforo, em adubação de manutenção. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 25: 83-90, 2001.

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 Agricola**, 63(4): 333-340, 2006.

RAGHOTHAMA, K.G. Phosphate acquisition. **Annual Review Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, 50: 665-696, 1999.

RAUSCH, C.; BUCHER, M. Molecular mechanisms of phosphate transport in plants. **Planta**, 216: 23-37, 2002.

RESENDE, A.V.; FURTINI NETO, A.E.; ALVES, V.M.C.; MUNIZ, J.A.; CURI, N.; LAGO, F.J. Resposta do milho a fontes e modos de aplicação de fósforo durante três cultivos sucessivos em solo da região do Cerrado. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, 30(3): 458-466, 2006a.

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**, Viçosa, 30: 453-466, 2006b.

ROSOLEM, C.A.; BASTOS, G.B. Deficiências minerais no cultivar de algodão IAC 22. **Bragantia**, 56(2): 377-387, 1997.

ROSOLEM, C.A. Fenologia e Ecofisiologia do Algodoeiro. In: FACUAL (Fundo de Apoio à Cultura do Algodão) (Eds). **Algodão: pesquisas e resultados para o campo**. Cuiabá: FACUAL, 2006. p. 16-35.

RUIZ, H.A. **Efeito do conteúdo de água sobre o transporte de fósforo em dois latossolos**. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1986. 86p. (Tese de Doutorado).

SANTOS, F.C. Produtividade de soja e resposta a técnicas de cultivo em solos de cerrado com diferentes texturas. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 2006. 86 p. (Tese de Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas).

SARMENTO, P.; CORSI, M.; CAMPOS, F.P. Resposta da alfafa a fontes de fósforo associadas ao gesso e à calagem. **Scientia Agricola**, 58(2): 381-390, 2001.

SHENOY, V.V.; KALAGUDI, G.M. Enhancing plant phosphorus use efficiency for sustainable cropping. **Biotechnology Advances**, 23: 501-513, 2005.

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**, Campinas, 49(1): 157-170, 1990.

SILVA, N.M. Nutrição mineral e adubação do algodoeiro no Brasil. In: Cia, E.; Freire, E.C.; Santos, W.J. (Ed.) **Cultura do algodoeiro**. Piracicaba: POTAFOS, 1999. p. 57-92.

SOUZA, F.S; FARINELLI, R. ROSOLEM, C.A. Desenvolvimento radicular do algodoeiro em resposta à localização do fertilizante. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, 31: 387-392, 2007.

STAUT, L.A.; KURIHARA, C.H. Calagem e adubação. In: In: EMBRAPA AGROPECUÁRIA DO OESTE (Eds). **Algodão: tecnologia de produção**. Embrapa Algodão, Dourados: Embrapa Agropecuária do oeste, 2001. p. 103-123.

STEFANUTTI, R.; MALAVOLTA, E.; MURAOKA, T. Recuperação do fósforo residual do solo derivado de um termofosfato magnésiano com diferentes granulometrias e do superfosfato simples granulado. **Scientia Agricola**, 52(2): 233-238, 1995.

STEFANUTTI, R.; MURAOKA, T.; MALAVOLTA, E. Comportamento de extratores em solo tratado com fontes diversas de fósforo. **Scientia Agricola**, 51(1): 105-112, 1994.

VANCE, C.P.; STONE, C.U.; ALLAN, D.L. Phosphorus acquisition and use: critical adaptations by plants for securing a nonrenewable resource. **New Phytologist**, 157: 423-447, 2003.

VILLANI, E.M.A. **Fluxo difusivo de fósforo influenciado por fontes e por tempo de contato do fósforo com o solo**. Viçosa: UFV, 1995. 57 f. (Dissertação de Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas).

ZANCANARO, L. TESSARO, L.C. Calagem e Adubação. In: FACUAL (Fundo de Apoio à Cultura do Algodão) (Eds). **Algodão: pesquisas e resultados para o campo**. Cuiabá: FACUAL, 2006. p. 56-80.

## **2 - ABSORÇÃO DE FÓSFORO E PRODUTIVIDADE DO ALGODOEIRO IRRIGADO E DE SEQUEIRO COM O PARCELAMENTO DA ADUBAÇÃO FOSFATADA EM NEOSSOLO QUARTZARÊNICO**

### **2.1 - RESUMO**

A maioria das regiões de cultivo do algodoeiro no Brasil apresenta problemas relacionados à baixa fertilidade dos solos, em especial a elevada acidez, e aos baixos níveis de bases trocáveis e de P-disponível. Objetivou-se 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<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> aplicadas parcelamente de quatro formas: PS, P1, P2 e P3 [100/0; 75/25; 50/50; 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. A aplicação parcelada do fósforo não influenciou as características produtivas da cultura do algodão. 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. Os teores de P e N na folha índice foram maiores no cultivo irrigado. Os demais macronutrientes e os micronutrientes apresentaram maiores teores no cultivo de sequeiro. A resposta às doses de P ocorreu apenas sob irrigação. A máxima produtividade no cultivo irrigado foi obtida com 50 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Nessa dose, o cultivo irrigado propiciou acréscimo de 1993 kg ha<sup>-1</sup> na produção de algodão em caroço em relação ao sistema de sequeiro. A aplicação parcelada do fertilizante fosfatado não aumentou a eficiência da adubação na cultura do algodão em Neossolo Quartzarênico.

**Palavras – chave:** capulho, adubação de cobertura, *Gossypium hirsutum* L.

### **2.2 - ABSTRACT**

The majority of the regions of cotton culture in Brazil present problems related to the low fertility of soil, in special the higher acidity, and the low levels of exchangeable bases and P-available. The objective was to evaluate the parcel

application of phosphorus doses in the cotton culture in the systems of culture under irrigation and dry land, being aimed the bigger efficiency of phosphate fertilization, in comparison to the traditional application, only in sowing. The experiment was carried out in Quartzanic Neossoil, in the North region of Minas Gerais. The adopted delineation was random blocks, with three replicates. The treatments were the doses of 50 and kg ha<sup>-1</sup> of P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> applied parceled of four ways: PS, P1, P2 and P3 [100/0; 75/25; 50/50; 25/75% of the dose of phosphate fertilizer applied, respectively in the sowing and to the 35 days after the emergence (DAE)], in the culture of irrigated dry land and irrigated. Two additional treatments, without P, in the culture without and with irrigation, completed the eighteen treatments studied. The parceled application of phosphorus did not influence the productive characteristics of the cotton culture. The increase of the P doses increased the dry mass of aerial part and the number of reproductive structures at the 80 DAE, the relative efficiency of the phosphate fertilization and the productivity of cotton in bull. P and N quantity in the leaf index were bigger in the irrigated culture. The other macronutrients and the micronutrients presented bigger quantity in the dry land culture. The response to the P doses occurred only under irrigation. The maximum productivity in the irrigated culture was obtained with 50 kg ha<sup>-1</sup> of P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. In this dose the irrigated culture propitiated increase of 1993 kg ha<sup>-1</sup> in the production of cotton in bull in relation to the dry land system. The parceled application of the phosphate fertilizer did not increase the efficiency of the fertilization in the cotton farm in Quartzanic Neossoil.

**Keywords:** bolls, phosphate fertilizer, *Gossypium hirsutum* L.

### 2.3 - 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, se medidas adequadas de correção da carência deste elemento não forem tomadas. O fósforo no solo torna-se indisponível pela rápida formação de complexos insolúveis com cátions, especialmente alumínio e ferro em condições ácidas (VANICE et al., 2003).

No algodoeiro, os principais sintomas de deficiência caracterizam-se por atraso no desenvolvimento e coloração verde escura intensa nas folhas, com 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. Há formação de fibras imaturas, capulhos menores e leves e que não se abrem. Ademais, há prolongamento do ciclo de vida da cultura e produção de fibras de qualidade inferior, especialmente com relação ao comprimento (ROSOLEM e BASTOS, 1997).

A formação de P não-lábil a partir do P lábil é muito rápida e de reversibilidade pequena ou inexistente no curto prazo (NOVAIS e SMYTH, 1999). Gonçalves et al. (1985) aplicaram  $50 \text{ mg kg}^{-1}$  de P em solos de diferentes classes e texturas, pobres em P. Demonstraram que após 192 h de contato do P com o solo mais de 90 % do P aplicado foi adsorvido.

Pesquisas foram desenvolvidas para avaliar o efeito do parcelamento de fertilizantes fosfatados ao longo de cultivos sobre a produtividade das culturas, teor de P disponível no solo e teor e conteúdo de P na parte aérea. Em algodão, a aplicação da dose de  $726 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$  parcelada ao longo de seis anos no sulco de semeadura ou no primeiro e quarto ano a lanço, proporcionou maior produtividade e efeitos positivos na qualidade da fibra quando comparada à 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, principalmente devido ao aprofundamento de seu sistema radicular, explorando água de camadas subsuperficiais no solo. Entretanto, a planta responde bem à irrigação, especialmente em locais sujeitos a déficits hídricos (veranicos) em fases críticas, como a de florescimento e de desenvolvimento das maçãs (ROSOLEM, 2006).

Os resultados de pesquisas indicam que a água do solo tem grande influência sobre a difusão de P. Por isso, 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  $570 \text{ g kg}^{-1}$ , foi observada 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 houve redução da água no solo, especialmente

nas menores doses de P. Pessoa et al. (1996) verificaram, na cultura do feijão, redução de 20 % no teor de P nas folhas no florescimento e de 58 % no total de P absorvido quando foram comparados os cultivos sob sequeiro e irrigado.

No algodoeiro, a demanda por P aumenta a partir do início da formação dos botões florais e permanece alta até o início da maturação (FRYE e KAIRUZ, 1990). 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 àquelas 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 P – disponível no solo, o teor e o conteúdo de P nas folhas, caules e estruturas reprodutivas do algodoeiro, teor de nutrientes na folha índice e produtividade de algodão em caroço com a aplicação parcelada (semeadura + cobertura) de doses de  $P_2O_5$ , nos cultivos sob irrigação e de sequeiro.

## **2.4 - 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 da camada superficial e subsuperficial estão expressos na Tabela 1.

O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso, num arranjo fatorial de duas doses de  $P_2O_5$  (50 e 120 kg ha<sup>-1</sup> 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 um total de 18 tratamentos, com três repetições.

Cada unidade experimental constituiu-se de cinco de linhas de 6 m. A área útil correspondeu às três linhas centrais, sem 50 cm das extremidades. A parcela do P em cobertura foi feita incorporada aos 35 DAE, em sulco de 10 cm de profundidade aberto a 20 cm da fileira de plantas. A fonte de P utilizada na semeadura e cobertura foi o superfosfato triplo granulado com 41% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.

A recomendação de corretivo e adubações, exceto fosfatada, foi realizada de acordo com resultados de análise de solo seguindo 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.

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

Características	Profundidade (cm)	
	0-20	20-40
pH (H <sub>2</sub> O, 1:2,5)	6,2	6,1
P (mg dm <sup>-3</sup> ) <sup>1</sup>	22,0	15,9
K (mg dm <sup>-3</sup> ) <sup>1</sup>	73	50
Ca <sup>2+</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ) <sup>2</sup>	1,5	1,0
Mg <sup>2+</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ) <sup>2</sup>	0,4	0,1
Al <sup>3+</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ) <sup>2</sup>	0,0	0,0
H+Al (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ) <sup>3</sup>	2,4	1,0
T (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	4,5	2,2
Matéria Orgânica (dag kg <sup>-1</sup> ) <sup>4</sup>	0,5	0,6
P rem (mg L <sup>-1</sup> ) <sup>5</sup>	50,2	51,5
S (mg dm <sup>-3</sup> ) <sup>6</sup>	5,6	6,4
B (mg dm <sup>-3</sup> ) <sup>7</sup>	0,26	0,22
Zn (mg dm <sup>-3</sup> ) <sup>1</sup>	4,6	1,3
Mn (mg dm <sup>-3</sup> ) <sup>1</sup>	70,9	15,4
Cu (mg dm <sup>-3</sup> ) <sup>1</sup>	0,3	0,2
Fe (mg dm <sup>-3</sup> ) <sup>1</sup>	13,2	6,8
Areia Grossa (dag kg <sup>-1</sup> )	30	26
Areia Fina (dag kg <sup>-1</sup> )	57	56
Silte (dag kg <sup>-1</sup> )	3	4
Argila (dag kg <sup>-1</sup> )	10	14
Classificação Textural	Areia - Franca	Franco - arenosa
Capacidade de Campo (kg kg <sup>-1</sup> )*	0,100	0,094
Ponto de Murcha (kg kg <sup>-1</sup> )**	0,044	0,040

\*\*\* -10 e -1500 kPa, respectivamente; Extratores: (1) Mehlich – 1; (2) KCl 1 mol L<sup>-1</sup>. (3) Ca(OAc)<sub>2</sub> 0,5 mol L<sup>-1</sup>, pH 7; (4) Walkley e Black; (5) P - rem = Fósforo remanescente (ALVAREZ V. et al., 2000); (6) Fosfato monocálcico em ácido acético; (7) Água quente.

Na semeadura, foram aplicados N, K, Zn e B, nas doses de 12, 25, 2 e 1 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente. Em cobertura, 188 kg ha<sup>-1</sup> de N e 116 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O, parcelados em três aplicações aos 25, 35 e 45 dias após a emergência (DAE). Foram utilizados ureia e sulfato de amônio como fontes de N, sendo suprido 60 e 40 % da dose total de N com cada uma das fontes, respectivamente. Foram utilizados sulfato de amônio, em semeadura e na primeira cobertura, e ureia nas duas últimas coberturas. A fonte de potássio foi o KCl. Foram aplicados via foliar 5 kg ha<sup>-1</sup> de Fertilis 38<sup>®</sup> 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.

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

Foram realizadas aplicações de inseticidas (Tracer<sup>®</sup>, Endosulfan<sup>®</sup> e Decis<sup>®</sup>) nas dosagens recomendadas para a cultura, para controle de insetos-praga. Foram realizadas duas aplicações de estrobirulinas e triazóis para controle da mancha de Ramulária (Comet<sup>®</sup> e Folicur<sup>®</sup>).

Nas parcelas irrigadas, utilizou-se o sistema de irrigação por gotejamento. Instalou-se uma linha lateral por fileira de plantas, com gotejadores espaçados de 50 cm e operando com vazão de 2,2 L h<sup>-1</sup>. Avaliou-se a uniformidade pelo Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC), o 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 (FAO 56). 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 secas 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 secos, até massa constante. Após a secagem, cada órgão da planta foi triturado em moinho tipo Wiley equipado com peneira de 0,127 mm para determinação do teor de P. Após mineralização nítrico – perclórica, dosou-se o P por colorimetria, pelo método de redução do fosfomolibdato pelo ácido ascórbico (BRAGA e DEFELIPO, 1974). 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 mediu-se a altura de plantas. Foi coletada 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. Dosou-se o P conforme descrito acima. O N-total foi obtido pela soma do  $\text{N-NO}_3^-$  e  $\text{N-NH}_4^+$ , que foram dosados de acordo com Cataldo et al. (1975) e Jackson (1958), respectivamente. O B foi determinado colorimetricamente pelo método da Azometina H, após mineralização por via seca em mufla a 550°C (WOLF, 1974). Os demais nutrientes foram analisados após a mineralização nítrico - perclórica. Dosou-se o K por fotometria de emissão de chama; o Ca, Mg, Fe, Mn, Zn e Cu, por espectrofotometria de absorção atômica; e o S, por turbidimetria do sulfato (BLANCHARD et al., 1965).

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 foi determinado o número e massa dos capulhos de vinte plantas de cada parcela. A produtividade de algodão em caroço foi determinada após a colheita dos capulhos abertos da área útil da parcela. Calculou-se 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, utilizando-se o software estatístico SAEG Versão 9.1 (SAEG, 2007). Foi realizado 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 ao 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.

## 2.5 - 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<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, no cultivo de sequeiro, sendo maior a disponibilidade nos parcelamentos PS e P1. Tal resposta pode ser considerada efeito de dose, haja vista a menor quantidade de P aplicada em P2 e P3 por ocasião da semeadura em comparação à testemunha e ao parcelamento P1. A diferença encontrada entre parcelamentos para a dose 120 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 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, houve diferença entre o sistema irrigado e sequeiro na dose 120 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, aos 35 DAE (Tabela 2). O comportamento diferenciado do sequeiro para esta dose, em relação ao cultivo irrigado, pode ter advindo de uma maior difusão 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) devido à 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). Essa 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 V. et al., 1999, 2000). Para a classe

de disponibilidade média, a produção relativa esperada sem aplicação de fertilizante é de 50 a 70 %. Desta forma, o maior acréscimo de produtividade esperado com a dose de 60 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, recomendada para a cultura em solo com disponibilidade de P classificada como média (ALVAREZ V. 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<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 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 V. 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 adequados níveis de umidade. 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 e 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 (BERNARDO et al., 2006). No entanto, a irrigação favoreceu a produtividade, devido a 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 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 (BEZERRA et al., 1999).

A irrigação favoreceu maior acúmulo de P na parte aérea, especialmente aos 80 DAE, permitindo também maior acúmulo de massa seca nas plantas (Tabelas 3 e 5). Entretanto, a massa de estruturas reprodutivas secas aos 80 DAE não diferiu entre o cultivo irrigado e sequeiro, diferindo apenas no seu número. 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, principalmente pela maior retenção de estruturas reprodutivas, especialmente nos primeiros ramos reprodutivos da planta (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 um 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, reduzindo a quantidade total absorvida (COSTA et al., 2006). Pessoa et al. (1996) verificaram, na cultura do feijão, redução da produção de massa seca e de 58 % no total de P absorvido pela cultura, quando a cultura foi conduzida no sistema de sequeiro em comparação ao sistema irrigado.

Os teores de P na folha índice observados nos tratamentos, tanto sob regime de irrigação quanto de sequeiro, estão dentro da faixa considerada adequada à cultura do algodão, que varia de 0,20 a 0,45 dag kg<sup>-1</sup> de acordo com Silva (2008) (Tabela 6). 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. 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). Assim, 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. Isso é confirmado pela menor produtividade do cultivo de sequeiro em relação ao irrigado.

A irrigação propiciou maior altura de plantas, não sendo essa altura 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 àqueles tratamentos 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<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, o que pode ser atribuído à disponibilidade de P existente

originalmente na área experimental, classificada como média (ALVAREZ V. 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; BRUGNERA, 2007).

O teor de N na folha índice foi maior no cultivo irrigado. Neste sistema houve 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 houve umidade adequada ao transporte. 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 ao maior acúmulo de massa seca na parte aérea deste último, diluindo o N absorvido.

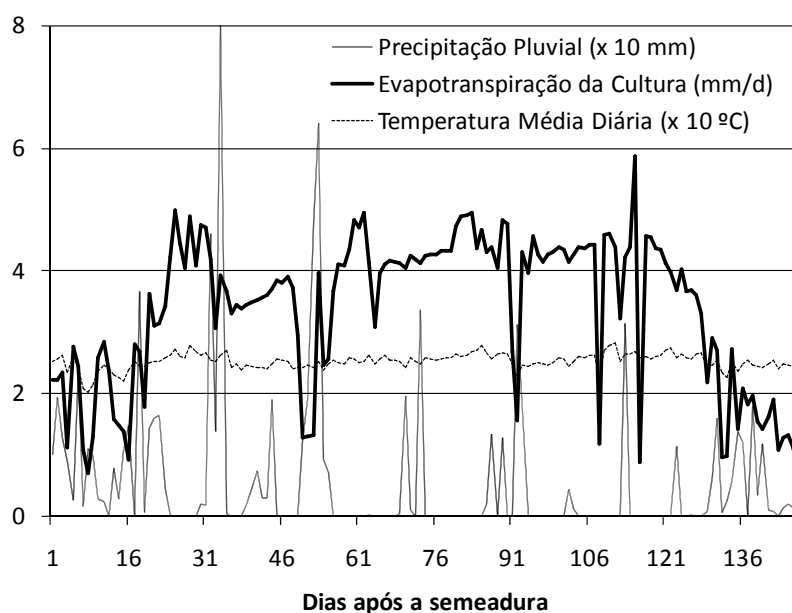
Os teores foliares de K, Ca, Mg e S na folha índice, aos 80 DAE, foram maiores nas plantas do cultivo de sequeiro e não foram influenciados pelas doses de P (Tabela 6). Independentemente da irrigação, os teores de Ca e S ficaram acima dos considerados adequados para a cultura, e os de K e Mg abaixo (SILVA, 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, possivelmente deveu-se à elevação da sua disponibilidade, pois 40 % da dose de N foi aplicada 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 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<sup>-1</sup> (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 como média (ALVAREZ V. 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 às 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 desse elemento. O teor de B situou-se dentro da faixa de concentração adequada para a cultura (POSSAMAI, 2003), sendo o maior teor observado no cultivo de sequeiro sem aplicação de P. O efeito de diluição, discutido para o N, 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). Neste, 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).

A aplicação parcelada do P não influenciou as características produtivas da cultura do algodão. A irrigação promoveu acréscimo de características vegetativas, como massa seca da parte aérea aos 80 DAE e de características relacionadas à produção (número de estruturas reprodutivas aos 80 DAE e número de capulhos por planta), resultando em maior produtividade de algodão em caroço. A resposta às doses de P para produtividade ocorreu apenas no cultivo irrigado. Nesse, a maior produtividade foi alcançada com a dose de 50 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Nesta dose, o aumento de produtividade promovido pela irrigação nesta dose foi de 1993 kg ha<sup>-1</sup> de algodão em caroço. O parcelamento não foi eficiente no aumento da eficiência do fertilizante fosfatado em Neossolo Quartzarênico com disponibilidade de P classificada como média.



**Figura 1.** Precipitação, evapotranspiração da cultura e temperatura média durante a condução do experimento. Januária - MG, IF do Norte de Minas Gerais – Campus Januária, 2009.

**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. Januária - MG, IF do Norte de Minas Gerais – Campus Januária, 2009.

Parcelamento	Irigado (I)			Sequeiro (S)			I vs S		
	0	50	120	0	50	120	0	50	120
P - Mehlich - 35 DAE ( $\text{mg dm}^{-3}$ ) – CV = 53,9 %									
PS	38,9 a	36,7 a	67,2 a	36,0 a	48,8 bc	125,8 a	ns <sup>2</sup>	ns	*
P1	38,9 a	47,3 Aa <sup>1</sup>	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 ( $\text{mg dm}^{-3}$ ) – 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 ( $\text{mg dm}^{-3}$ ) – 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	41,9Ab	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

<sup>1</sup> 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 por uma mesma letra minúscula nas linhas para cada sistema de cultivo não diferem entre si pelo teste t a 5 % de probabilidade. <sup>2</sup> ns e \*, significativa 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).

**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. Januária - MG, IF do Norte de Minas Gerais – Campus Januária, 2009.

Sistema	Doses de Fósforo (kg ha <sup>-1</sup> de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )			Sistema	Doses de Fósforo (kg ha <sup>-1</sup> de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )		
	0	50	120		0	50	120
Massa de Parte Aérea Seca - 35 DAE (kg ha <sup>-1</sup> ) – CV = 15,6 %				Altura de plantas - 80 DAE (cm) – CV = 7,7 %			
Irrigado	877 Aa <sup>1</sup>	827 Aa	801 Aa	Irrigado	104,2 Aa	105,0 Aa	103,0 Aa
Sequeiro	705 Ab	886 Aa	894 Aa	Sequeiro	79,2 Ba	77,0 Ba	78,0 Ba
Massa de Parte Aérea Seca - 50 DAE (kg ha <sup>-1</sup> ) – CV = 24,3 %				Massa de Capulho (g) – CV = 8,4 %			
Irrigado	3404 Aa	3549 Aa	3839 Aa	Irrigado	5,4 Ba	5,8 Aa	5,8 Aa
Sequeiro	3191 Aa	3063 Aa	3452 Aa	Sequeiro	6,4 Aa	5,9 Aa	5,9 Aa
Massa de Estruturas Reprodutivas Secas - 80 DAE (kg ha <sup>-1</sup> ) – CV = 30,9 %				Número de Capulhos por Planta – CV = 16,5 %			
Irrigado	874 Aa	1392 Aa	1303 Aa	Irrigado	6,7 Ab	7,9 Aab	8,5 Aa
Sequeiro	898 Aa	1199 Aa	1296 Aa	Sequeiro	4,5 Ba	4,8 Ba	5,2 Ba
Massa de Parte Aérea Seca - 80 DAE (kg ha <sup>-1</sup> ) – CV = 25,5 %				Eficiência Relativa da Adubação Fosfatada – CV = 16,7 %			
Irrigado	6526 Aa	7649 Aa	7168 Aa	Irrigado	141 Ab	177 Ab	190 Aa
Sequeiro	4434 Aa	5016 Ba	5553 Ba	Sequeiro	100 Ba	106 Ba	114 Ba
Número de Estruturas Reprodutivas - 80 DAE – CV = 25,8 %				Produtividade de algodão em caroço (kg ha <sup>-1</sup> ) – CV = 16,2 %			
Irrigado	94 Aa	103 Aa	98 Aa	Irrigado	3942 Ab	4958 Aa	5321 Aa
Sequeiro	61 Ba	47 Ba	50 Ba	Sequeiro	2788 Ba	2965 Ba	3170 Ba

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

**Tabela 4.** Massa seca, teor e conteúdo de P nas folhas e caules, aos 35, 50 e 80 DAE na cultura do algodão. Januária - MG, IF do Norte de Minas Gerais – Campus Januária, 2009.

Variáveis	Médias <sup>1</sup>	CV (%)
Massa de Folha Seca – 35 DAE (kg ha <sup>-1</sup> )	601,2	15,8
Massa de Caule Seco – 35 DAE (kg ha <sup>-1</sup> )	241,2	16,9
Massa de Folha Seca – 50 DAE (kg ha <sup>-1</sup> )	2047,2	24,5
Massa de Caule Seco – 50 DAE (kg ha <sup>-1</sup> )	1369,2	24,8
Massa de Folha Seca – 80 DAE (kg ha <sup>-1</sup> )	2718,7	26,3
Massa de Caule Seco – 80 DAE (kg ha <sup>-1</sup> )	2367,2	29,4
Teor de P na Folha – 35 DAE (dag kg <sup>-1</sup> )	0,45	11,9
Teor de P no Caule – 35 DAE (dag kg <sup>-1</sup> )	0,28	16,0
Teor de P na Folha – 50 DAE (dag kg <sup>-1</sup> )	0,45	9,2
Teor de P no Caule – 50 DAE (dag kg <sup>-1</sup> )	0,29	16,4
Teor de P na Folha – 80 DAE (dag kg <sup>-1</sup> )	0,34	10,6
Teor de P no Caule – 80 DAE (dag kg <sup>-1</sup> )	0,21	11,8
Conteúdo de P nas Folhas – 35 DAE (kg ha <sup>-1</sup> )	2,7	24,5
Conteúdo de P nos caules – 35 DAE (kg ha <sup>-1</sup> )	0,7	27,8
Conteúdo de P nas Folhas – 50 DAE (kg ha <sup>-1</sup> )	9,4	30,9
Conteúdo de P nos caules – 50 DAE (kg ha <sup>-1</sup> )	4,1	35,8
Conteúdo de P nas Folhas – 80 DAE (kg ha <sup>-1</sup> )	9,5	29,1
Conteúdo de P nos caules – 80 DAE (kg ha <sup>-1</sup> )	5,2	35,7

<sup>1</sup> Médias dos cultivos irrigados e sequeiros nas doses 0, 50 e 120 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e dos parcelamentos da adubação fosfatada.

**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. Januária - MG, IF do Norte de Minas Gerais – Campus Januária, 2009.

Sistema	Doses		
	0	50	120
Teor de P nas ER - 80 DAE (dag kg <sup>-1</sup> ) – CV = 10,7 %			
Irrigado	0,62 Aa <sup>1</sup>	0,59 Aa	0,60 Aa
Sequeiro	0,48 Ba	0,46 Ba	0,49 Ba
P contido na parte aérea aos 35 DAE (kg ha <sup>-1</sup> ) – 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 <sup>-1</sup> ) – 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 <sup>-1</sup> ) – 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 <sup>-1</sup> ) – CV = 26,6 %			
Irrigado	22,94 Aa	26,6 Aa	26,0 Aa
Sequeiro	19,76 Aa	15,5 Ba	17,7 Ba

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

**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. Januária - MG, IF do Norte de Minas Gerais – Campus Januária, 2009.

Sistema	Doses		
	0	50	120
	P (dag kg <sup>-1</sup> ) – CV = 10,7 %		
Irigado	0,36 Aa <sup>1</sup>	0,38 Aa	0,38 Aa
Sequeiro	0,29 Ba	0,31 Ba	0,32 Ba
	N (dag kg <sup>-1</sup> ) – CV = 5,7 %		
Irigado	4,28 Aa	4,16 Aab	4,13 Ab
Sequeiro	3,76 Ba	3,96 Ba	3,88 Ba
	K (dag kg <sup>-1</sup> ) – CV = 12,7 %		
Irigado	1,65 Aa	1,68 Ba	1,68 Ba
Sequeiro	1,98 Aa	2,03 Aa	1,89 Aa
	Ca (dag kg <sup>-1</sup> ) – CV = 9,7 %		
Irigado	4,18 Aa	4,52 Ba	4,74 Ba
Sequeiro	4,75 Aa	5,29 Aa	5,20 Aa
	Mg (dag kg <sup>-1</sup> ) – CV = 19,2 %		
Irigado	0,53 Aa	0,49 Ba	0,57 Ba
Sequeiro	0,65 Aa	0,74 Aa	0,75 Aa
	S (dag kg <sup>-1</sup> ) – CV = 15,7 %		
Irigado	1,73 Aa	1,78 Ba	1,91 Aa
Sequeiro	1,98 Aa	2,04 Aa	2,03 Aa
	Cu (mg kg <sup>-1</sup> ) – CV = 26,5 %		
Irigado	5,94 Aa	6,00 Ba	5,67 Ba
Sequeiro	5,65 Bb	6,53 Aa	5,96 Aa
	Fe (mg kg <sup>-1</sup> ) – CV = 15,5 %		
Irigado	90,09 Aa	72,76 Bb	74,58 Ab
Sequeiro	78,05 Ba	88,86 Aa	82,33 Aa
	Zn (mg kg <sup>-1</sup> ) – CV = 11,7 %		
Irigado	62,99 Aa	65,32 Aa	62,24 Aa
Sequeiro	59,91 Aa	65,38 Aa	63,64 Aa
	Mn (mg kg <sup>-1</sup> ) – CV = 29,4 %		
Irigado	518,76 Aa	540,26 Aa	530,23 Aa
Sequeiro	438,01 Aa	437,54 Aa	440,91 Aa
	B (mg kg <sup>-1</sup> ) – CV = 22,3 %		
Irigado	41,91 Ba	44,21 Aa	41,47 Aa
Sequeiro	62,07 Aa	52,18 Ab	48,20 Ab

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

## 2.6 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVAREZ V., 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. V.H. (Eds) Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª Aproximação. Viçosa, MG, Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. p. 25-32.
- ALVAREZ V., V.H.; NOVAIS, R.F.; DIAS, L.E.; OLIVEIRA, J.A. Determinação e uso do fósforo remanescente. **Boletim Informativo: SBCS**, 25:27-32, 2000.
- 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**, 11: 2-11, 2007.
- BERNARDO, S.; SOARES, A.A.; MANTOVANI, E.C. **Manual de Irrigação**. Ed. 6, Viçosa: UFV, 2006. 625 p.
- BEZERRA, J.R.C.; AMORIN NETO, M.S.; LUZ, M.J.S.; BARRETO, A.N.; SILVA, L.C. **Irrigação do algodoeiro herbáceo**. In: BELTRÃO, N.E.M. (Ed). O agronegócio do algodão no Brasil. Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 1999. vol 2, p. 617-682.
- BLANCHAR, R.W.; REHM, G.; CALDWELL, A.C. Sulfur in plant material by digestion with nitric and perchloric acid. **Proceedings-Soil Science Society of America**, v. 29, n. 1, p. 71-72, 1965.
- BRAGA, J.M.; DEFELIPO, B. Determinação espectrofotométrica de fósforo em extratos de solos e plantas. **Revista Ceres**, Viçosa, 21(113): 73-85, 1974.
- BRUGNERA, P. Irrigação do algodoeiro no Cerrado Baiano. In: VI CONGRESSO BRASILEIRO DE ALGODÃO, 2007, Uberlândia. **Anais...** Campina Grande: EMBRAPA-CNPA, 2007. 4 p.
- 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**, 61(5): 516-521, 2004.
- CATALDO, D.A.; HAROON, M.; SCHRADER, L.E.; YOUNGS, V.L. Rapid colorimetric determination of nitrate in plant tissue by nitrification of salicylic acid. **Communication in Soil Science and Plant Analysis**, v. 6, p. 71-80, 1975.
- CORDÃO SOBRINHO, F.P.; FERNANDES, P.D.; BELTRÃO, N.E.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**, Campina Grande, 11(3): 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**, 10(4): 828-835, 2006.

FRYE, I.A.A.; KAIRUZ, I.A.G. Manejo de suelos y uso de fertilizantes. In: Federación Nacional de Algodoeiros. Bases técnicas para el cultivo del algodón em Colombia. Bogotá: Guadalupe, 1990. p . 133-202.

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.

JACKSON, M.L. Nitrogen determination for soil and plant tissue. In: JACSON, M.L. **Soil chemical Analysis**. Engiewood Chiffs: Prentice Hall, 1958. p. 183-204.

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**, 30(4): 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*, 9: 237-243, 1985.

NOVAIS, R.F.; SMYTH, T.J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. Viçosa: UFV, 1999. 399 p.

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**, 10: 76-88, 2006.

PESSOA, A.C.S.; KELLING, C.R.S.; POZZEBON, E.J.; KÖNIG, O. Concentração e acumulação de nitrogênio, fósforo e potássio pelo feijoeiro cultivado sob diferentes níveis de irrigação. **Ciência Rural**, 26(1): 69-74, 1996.

POSSAMAI, J.M. **Sistema de recomendação de corretivos e fertilizantes para o cultivo do algodoeiro**. Viçosa: UFV, 2003. 91 f. (Dissertação de Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas).

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 Agricola**, 63(4): 333-340, 2006.

- RESENDE, A.V.; FURTINI NETO, A.E.; ALVES, V.M.C.; MUNIZ, J.A.; CURI, N.; FAQUIN, V.; KIMPORA, 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**, Viçosa, 30: 453-466, 2006.
- ROSOLEM, C.A.; BASTOS, G.B. Deficiências minerais no cultivar de algodão IAC 22. **Bragantia**, 56(2): 377-387, 1997.
- ROSOLEM, C.A. Fenologia e Ecofisiologia do Algodoeiro. In: FACUAL (Fundo de Apoio à Cultura do Algodão) (Eds). **Algodão: pesquisas e resultados para o campo**. Cuiabá: FACUAL, 2006. p. 16-35.
- SAEG – Sistema para Análises Estatísticas, Versão 9.1: Fundação Arthur Bernardes – UFV – Viçosa, 2007.
- 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. (Eds) **Nutrição de plantas: diagnose foliar em grandes culturas**. Jaboticabal: FCAV, Capes/Fundunesp, 2008. p. 251-266.
- 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**, Campinas, 49(1): 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**, 157: 423-447, 2003.
- WOLF, B. Improvements in azomethine-H method for determination of boron. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 5, n. 1, p. 39-44, 1974.

### **3 - O PARCELAMENTO DA ADUBAÇÃO FOSFATADA AUMENTA A ABSORÇÃO DE FÓSFORO E A PRODUTIVIDADE DO ALGODOEIRO IRRIGADO EM NEOSSOLO QUARTZARÊNICO?**

#### **3.1 - RESUMO**

A maioria das regiões de cultivo do algodoeiro no Brasil apresenta problemas relacionados à baixa fertilidade dos solos, em especial a de P-disponível. Objetivou-se avaliar a aplicação parcelada de doses de fósforo no algodoeiro irrigado, 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. Os tratamentos consistiram das doses 0, 30, 60, 120 ou 180 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> aplicadas parceladamente de três formas: P1, P2 e P3 [80/20; 60/40; 40/60 % da dose do fertilizante fosfatado aplicado, respectivamente na semeadura e aos 35 dias após a emergência (DAE)], mais aplicação das doses 60 ou 120 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> na semeadura. A aplicação parcelada influenciou a absorção de fósforo apenas até aos 35 DAE. Aos 50 e 80 DAE, não houve efeito da aplicação parcelada sobre o P absorvido. Houve aumento no P absorvido em função das doses de P aplicadas. Os teores de nutrientes na folha índice, exceto P, não foram influenciados pelas doses de P e pelos parcelamentos. O teor de P na folha índice e o número de capulhos por planta aumentaram com o incremento das doses de P aplicadas. Em Neossolo Quartzarênico com disponibilidade de P classificada de média, a aplicação de 40 % da dose de P em semeadura e do restante em cobertura aos 35 DAE reduziu a eficiência relativa da adubação fosfatada e a produtividade de algodão em caroço.

**Palavras – chave:** capulho, adubação de cobertura, *Gossypium hirsutum* L.

#### **3.2 - ABSTRACT**

The majority of regions where cotton is cultured in Brazil present problems related to low the fertility of soil, in special of P-available. It was objectified to evaluate the parcel application of phosphorus doses in the irrigated cotton, aiming the bigger efficiency of the phosphate fertilization, in comparison to the traditional application, only in sowing. The experiment was conducted in Quartzanic Neossoil, in the North region of Minas Gerais. The treatments consisted of doses 0, 30, 60, 120 or 180 kg ha<sup>-1</sup> of P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> applied parceled in

three ways: P1, P2 and P3 [80/20; 60/40; 40/60 % of the dose of the phosphate fertilizer applied, respectively in the sowing and at 35 days after the emergence (DAE)], plus the application of 120 doses 60 or kg ha<sup>-1</sup> of P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> in the sowing. The parceled application influenced the phosphorus absorption only until the 35 DAE. At the 50 and 80 DAE it did not have effect on the application parceled out on the absorbed P. It had increase on the P absorbed in function of the P doses applied. The nutrients quantities in the leaf index, except P, were not influenced by the doses of P and the parcelment. The P quantity in the leaf index and the number of bolls per plant increased with the increment of the P doses applied. In Quartzanic Neossoil with availability of classified P as average, the application of 40% of the P dose in sowing and the remaining in covering at the 35 DAE, reduced the relative efficiency of the phosphate fertilization and the productivity of cotton in boll.

**Palavras – chave:** boll, phosphate fertilizer in the cotton, *Gossypium hirsutum* L.

### 3.3 - 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, se medidas adequadas de correção da carência do elemento não forem tomadas. Em condições ácidas, o P no solo torna-se indisponível às plantas, pela rápida formação de complexos insolúveis com cátions, especialmente Al e Fe (VANCE et al., 2003).

No algodoeiro, os principais sintomas de deficiência de P caracterizam-se por atraso no desenvolvimento e coloração verde escura intensa com manchas ferruginosas no limbo foliar. Ademais, pode ocorrer necrose de botões florais nas partes mais novas das plantas e amarelecimento das folhas mais velhas, devido à menor absorção de N e Mg. Há formação de fibras imaturas, capulhos menores e leves e que não se abrem (ROSOLEM e BASTOS, 1997).

Para reduzir a porção da dose de P aplicada via fertilizantes, que é fixada ao solo, uma das opções é aumentar a concentração do nutriente num determinado volume de solo (localização). Desta forma, reduz-se o volume total de solo fertilizado em contato com a dose de P aplicada (BULL et al., 2004). A localização, no entanto, deve ser próxima o máximo da semente para reduzir o contato da fonte de P com o solo, mas deve garantir o desenvolvimento de um volume mínimo de raízes. A localização excessiva do fertilizante fosfatado pode levar ao desenvolvimento insuficiente do sistema radicular e, por consequência, à deficiência de elementos como Fe e Cu (NOVAIS e SMYTH, 1999).

Estudo em que se avaliou o desenvolvimento radicular do algodoeiro em resposta à localização do fertilizante muito próximo às sementes resultou em menor comprimento de raízes e em menor absorção de minerais (SOUZA et al., 2007). A eficiência da localização no aumento da eficiência de absorção depende do teor de P do solo e do fator capacidade de P. Em solos com alta disponibilidade de P, o efeito da localização do fertilizante fosfatado para aumento da eficiência de absorção tende a ser menor, ou mesmo nulo, em comparação com aqueles solos com baixa disponibilidade do nutriente (BÜLL et al., 2004).

A formação de P não-lábil a partir do P lábil é muito rápida e de reversibilidade pequena ou inexistente no curto prazo (NOVAIS e SMYTH, 1999). Gonçalves et al. (1985) aplicaram  $50 \text{ mg kg}^{-1}$  de P em solos de diferentes classes e texturas, pobres em P, tendo demonstrado que, em média, após 192 h de contato do P com o solo, mais de 90 % do P aplicado foi adsorvido.

Trabalhos com parcelamento da adubação fosfatada, em que se avaliaram a produtividade das culturas, o teor de P disponível e os teores e conteúdos de P nas plantas, demonstraram que essa técnica favoreceu a produtividade e o efeito residual ao longo dos anos de cultivo (SILVA et al., 1990; RESENDE et al., 2006). Em algodão, a aplicação da dose de  $726 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$ , parcelada ao longo de seis anos no sulco de semeadura ou no primeiro e quarto ano a lanço proporcionou maior produtividade e efeitos positivos na qualidade da fibra quando comparada à aplicação a lanço em dose única no primeiro ano (SILVA et al., 1990). Na cultura do milho, a aplicação parcelada do superfosfato triplo, do termofosfato magnésiano, do fosfato natural de Arad e do fosfato natural de Araxá no sulco de semeadura promoveu maior produtividade ao longo de três anos, quando comparada com a aplicação em dose única no primeiro ano (RESENDE et al., 2006).

No algodoeiro, a demanda por P é alta desde o início da formação dos botões florais até a maturação (FRYE e KAIRUZ, 1990). Assim, o parcelamento do P, ao diminuir o tempo de contato da fonte fosfatada solúvel com o solo, pode contribuir para diminuir a fixação do P pelo solo. Maiores produtividades para uma mesma dose de P ou menores doses de P para as produtividades atualmente obtidas podem ser alcançadas por meio do parcelamento do fertilizante fosfatado.

Objetivou-se avaliar a absorção de P, os teores de nutrientes na folha índice do algodoeiro, a eficiência relativa da adubação fosfatada e a produtividade de algodão em caroço com a aplicação parcelada de doses de  $\text{P}_2\text{O}_5$  no cultivo irrigado em Neossolo Quartzarênico.

### 3.4 - 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 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 de Neossolo Quartzarênico, cujos atributos químicos e físicos da camada superficial e subsuperficial estão expressos na Tabela 1.

O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso, num arranjo fatorial de quatro doses de  $P_2O_5$  (30, 60, 120 e 180  $kg\ ha^{-1}$  de  $P_2O_5$ ) x três formas de aplicação parcelada P1, P2 e P3 (80/20; 60/40; 40/60 % da dose do fertilizante fosfatado aplicada em semeadura e aos 35 DAE, respectivamente) e três tratamentos adicionais (sem aplicação do P, e as doses 60 e 120  $kg\ ha^{-1}$  de  $P_2O_5$  distribuídos na semeadura), perfazendo 15 tratamentos, com três repetições.

Cada unidade experimental constituiu-se de cinco de fileiras de 6 m. A área útil correspondeu às três fileiras centrais, sem 50 cm das extremidades. A parcela do P em cobertura foi incorporada aos 35 DAE, a 10 cm de profundidade e a 20 cm da fileira de plantas. 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 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). Foram utilizados sulfato de amônio e ureia como fontes de N, sendo supridos 40 e 60 % da dose total de N com cada uma das fontes, respectivamente. Foram utilizados sulfato de amônio, em semeadura e na primeira cobertura, e ureia nas duas últimas coberturas. A fonte de potássio foi o KCl. Foram aplicados via foliar 5  $kg\ ha^{-1}$  de Fertilis 38<sup>®</sup> 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.

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

Características	Profundidade (cm)	
	0-20	20-40
pH (H <sub>2</sub> O, 1:2,5)	6,2	6,1
P (mg dm <sup>-3</sup> ) <sup>1</sup>	22,0	15,9
K (mg dm <sup>-3</sup> ) <sup>1</sup>	73	50
Ca <sup>2+</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ) <sup>2</sup>	1,5	1,0
Mg <sup>2+</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ) <sup>2</sup>	0,4	0,1
Al <sup>3+</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ) <sup>2</sup>	0,0	0,0
H+Al (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ) <sup>3</sup>	2,4	1,0
T (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	4,5	2,2
Matéria Orgânica (dag kg <sup>-1</sup> ) <sup>4</sup>	0,5	0,6
P rem (mg L <sup>-1</sup> ) <sup>5</sup>	50,2	51,5
S (mg dm <sup>-3</sup> ) <sup>6</sup>	5,6	6,4
B (mg dm <sup>-3</sup> ) <sup>7</sup>	0,26	0,22
Zn (mg dm <sup>-3</sup> ) <sup>1</sup>	4,6	1,3
Mn (mg dm <sup>-3</sup> ) <sup>1</sup>	70,9	15,4
Cu (mg dm <sup>-3</sup> ) <sup>1</sup>	0,3	0,2
Fe (mg dm <sup>-3</sup> ) <sup>1</sup>	13,2	6,8
Areia Grossa (dag kg <sup>-1</sup> )	30	26
Areia Fina (dag kg <sup>-1</sup> )	57	56
Silte (dag kg <sup>-1</sup> )	3	4
Argila (dag kg <sup>-1</sup> )	10	14
Classificação Textural	Areia - Franca	Franco - arenosa
Capacidade de Campo (kg kg <sup>-1</sup> )*	0,100	0,094
Ponto de Murcha (kg kg <sup>-1</sup> )**	0,044	0,040

\*\*\* -10 e -1500 kPa, respectivamente; Extratores: (1) Mehlich – 1; (2) KCl 1 mol L<sup>-1</sup>. (3) Ca(OAc)<sub>2</sub> 0,5 mol L<sup>-1</sup>, pH 7; (4) Walkley e Black; (5) P - rem = Fósforo remanescente (ALVAREZ V. et al., 2000); (6) Fosfato monocálcico em ácido acético; (7) Água quente.

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

Foram realizadas aplicações de inseticidas (Tracer<sup>®</sup>, Endosulfan<sup>®</sup> e Decis<sup>®</sup>) nas doses recomendadas para a cultura, para controle de insetos-praga. Realizaram-se duas aplicações de estrobirulina (Comet<sup>®</sup>) e triazol (Folicur<sup>®</sup>) para controle da Mancha-de-Ramularia.

As irrigações foram realizadas por aspersão convencional. O espaçamento entre aspersores foi de 12 x 12 m. A lâmina média aplicada foi de 7,2 mm h<sup>-1</sup>. Avaliou-se a uniformidade pelo Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC), o qual foi de 83 %. 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 (FAO 56). A evapotranspiração da cultura foi calculada pelo produto da evapotranspiração de referência pelos 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 secas 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 80 DAE, separaram-se as folhas (do ramo principal e dos ramos frutíferos), os caules e as estruturas reprodutivas (botões florais, flores e frutos). Em seguida, cada órgão da planta foi levado a uma estufa com ventilação forçada de ar, a 70°C, e seco até massa constante. Após a secagem, cada órgão da planta foi triturado em moinho tipo Wiley, equipado com peneira de 0,127 mm para determinação do teor de P. Após mineralização nítrica – perclórica, dosou-se o P por colorimetria, pelo método de redução do fosfomolibdato pelo ácido ascórbico (BRAGA e DEFELIPO, 1974). Depois da determinação do teor de P, calculou-se a quantidade acumulada em cada parte da planta (conteúdo), pelo produto entre a 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 de P nas folhas, nos caules e nas estruturas reprodutivas.

Aos 80 DAE, realizou-se a contagem do número de estruturas reprodutivas (botões florais, flores, e maçãs). Coletou-se 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. As folhas coletadas foram lavadas, secas e trituradas. Dosou-se o P conforme descrito acima. O N-total foi obtido pela soma do N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> e N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, os quais foram dosados de acordo com Cataldo et al. (1975) e Jackson (1958), respectivamente. O B foi determinado colorimetricamente pelo método da

Azometina H, após mineralização por via seca em mufla a 550°C (WOLF, 1974). Os demais nutrientes foram analisados após a mineralização nítrico - perclórica. Dosou-se o K por fotometria de emissão de chama; o Ca, Mg, Fe, Mn, Zn e Cu por espectrofotometria de absorção atômica; e o S por turbidimetria do sulfato (BLANCHAR et al., 1965).

Realizou-se a desfolha utilizando-se carfentrazone – ethyl associado a óleo mineral, aos 135 DAE. Procedeu-se à colheita aos 142 DAE, quando foram determinados o número e a massa dos capulhos de vinte plantas de cada parcela. A produtividade do algodão em caroço foi determinada após a colheita dos capulhos da área útil da parcela. Calculou-se 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 utilizando-se o software estatístico SAEG Versão 9.1 (SAEG, 2007). Foi realizado desdobramento dos graus de liberdade dos fatores estudados. Realizaram-se análises de regressão para doses de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Quando o modelo com explicação biológica não se ajustou aos dados de pelo menos um dos parcelamentos, realizou-se a regressão independentemente dos parcelamentos. As aplicações parceladas das doses 60 ou 120 kg ha<sup>-1</sup> foram comparadas às respectivas doses aplicadas apenas em semeadura e à dose zero, pelo teste Dunnett, ao nível de 5 % de probabilidade.

### **3.5 - RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Houve interação doses de P x formas de aplicação (parcelamentos) no P-disponível no solo (Figura 1). Nos parcelamentos P1 e P2, o P-disponível elevou-se linearmente em função das doses de P. No parcelamento P3, não houve modelo com ajuste adequado para o P-disponível aos 35 DAE. A menor porção das doses de P aplicadas em semeadura no parcelamento P3, associada à disponibilidade de P classificada como média (ALVAREZ V. et al., 1999) pode ser uma explicação para o não ajuste de um modelo aos dados. Os coeficientes angulares das equações de regressão doses de P x disponibilidade foram decrescentes aos 50 e 80 DAE, na ordem P1, P2 e P3. Tal fato pode ter ocorrido em razão do menor efeito da localização do adubo fosfatado com a maior porção da dose de P em cobertura. No parcelamento P3, foram aplicados 40 % da dose total de P em semeadura e o restante em cobertura. Nesse parcelamento, pode ter ocorrido maior fixação de P em relação ao P1 (apenas 20 % do P aplicado em cobertura). O maior contato da fonte de P com o solo, de modo geral, reduz a disponibilidade de P às plantas, devido à rápida formação de P não lábil (NOVAIS e SMYTH, 1999).

Houve interação doses de P x parcelamentos para a massa de parte aérea seca aos 35 DAE (Figura 3A). Houve efeito apenas de doses de P para a massa de parte aérea seca aos 50 DAE (Figura 3B) e de estruturas reprodutivas secas aos 80 DAE (Figura 3C). Não houve efeito de doses de P e de parcelamentos para a massa de parte aérea seca aos 80 DAE. A média geral dessa massa foi de 7153 kg ha<sup>-1</sup>. Apesar do não efeito do P sobre a massa de parte aérea aos 80 DAE, ele aumentou a massa de estruturas reprodutivas secas. O P é importante para o pegamento e desenvolvimento da parte reprodutiva da planta, promovendo o incremento da massa dos frutos (ROSOLÉM e BASTOS, 1997).

As doses de P não surtiram efeito sobre o teor e conteúdo de P nas folhas e caules aos 35, 50 e 80 DAE e nas estruturas reprodutivas aos 80 DAE (Tabela 3). Isso pode ser atribuído ao teor de P disponível no solo. A disponibilidade do P antes da instalação do experimento foi considerada média (ALVAREZ V. et al., 1999) e provavelmente supriu a demanda da parte vegetativa e das estruturas reprodutivas, mesmo sem a aplicação do nutriente via fertilizante.

Houve interação doses de P x parcelamentos para o conteúdo de P na parte aérea aos 35, 50 e 80 DAE (Figura 1). O conteúdo de P na parte aérea aos 50 e 80 DAE não diferiu entre a aplicação parcelada (P1, P2 e P3) ou em semeadura (PS) nas doses de 60 e 120 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Aos 35 DAE, a dose 60 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, aplicada em semeadura (PS), proporcionou menor absorção de P que as aplicações parceladas (P2 e P3). Com aplicação de 120 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, aos 35 DAE, houve menor acúmulo de P na parte aérea com a aplicação parcelada (P1, P2 e P3) (Tabela 2). Nas plantas do tratamento testemunha (PS) e no parcelamento P1, a maior quantidade de P em semeadura pode ter levado a uma maior localização do sistema radicular na linha de semeadura, confirmando a menor quantidade de P absorvida, em comparação com os parcelamentos P2 e P3. O adequado suprimento de P favorece o crescimento do sistema radicular e aumenta a quantidade do nutriente absorvido (SOUZA et al., 2007).

O P contido na parte aérea aos 50 DAE e nas estruturas reprodutivas e na parte aérea aos 80 DAE não diferiu nas doses 60 e 120 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, entre a aplicação em semeadura ou de forma parcelada (Tabela 2). O conteúdo de P na parte aérea aos 80 DAE foi próximo a 25 kg ha<sup>-1</sup>. Possamai (2003) estimou a demanda de P em 35 kg ha<sup>-1</sup> para produzir 4800 kg ha<sup>-1</sup> de algodão em caroço. O autor observou que 16,5 % da massa total da planta seca se localizou no sistema radicular, cujo teor de P foi de 2,23 g kg<sup>-1</sup>. Considerando os dados do autor acima, pode-se estimar uma absorção total de 27,41 kg ha<sup>-1</sup> de P. Comparativamente aos dados de Possamai (2003), a menor absorção de P pode estar relacionada à menor massa de parte aérea seca produzida no experimento para a

produtividade alcançada e à época de amostragem. Após os 80 DAE, quando as plantas não foram mais amostradas, significativas quantidades de P possivelmente foram absorvidas. O algodoeiro mantém alta a absorção de P durante boa parte de seu ciclo, resultando em elevadas quantidades absorvidas do nutriente (FRYE e KAIRUZ, 1990).

Houve aumento no teor de P na folha índice aos 80 DAE em função das doses de P aplicadas para os três parcelamentos (Figura 2). Os teores de P na folha índice aos 80 DAE, correspondentes às máximas produtividades, foram 0,38; 0,38; 0,41 dag kg<sup>-1</sup> de massa seca, para os parcelamentos P1, P2 e P3, respectivamente. Não houve efeito da aplicação parcelada das doses 60 e 120 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> sobre o teor de P na folha índice. Os teores de P na folha índice, independentemente dos parcelamentos estudados, estiveram próximos ao limite superior para a faixa considerada adequada à cultura do algodão, que varia de 0,20 a 0,45 dag kg<sup>-1</sup> (POSSAMAI, 2003; SILVA, 2008). Os valores próximos ao limite superior da faixa citada estão relacionados ao solo da área experimental, que apresenta baixo fator capacidade de P, indicado pelo alto P-remanescente (ALVAREZ V. et al., 2000). Solos com menor fator capacidade apresentam maior nível crítico de determinado elemento para certo nível de produtividade, quando comparado aos solos de maior fator capacidade, especialmente no caso de elementos menos móveis como o P (MUNIZ et al. 1985).

Não houve efeito de doses de P ou de parcelamentos sobre o teor de nutrientes na folha índice aos 80 DAE, exceto para teor de P (Tabela 4). Os teores de N, K e Mg ficaram dentro da faixa de concentração considerada para a cultura (SILVA, 2008), mas no limite inferior da faixa considerada adequada para produtividades em torno de 5.000 kg ha<sup>-1</sup> (POSSAMAI, 2003). Os teores de Ca e de S foram superiores aos valores referenciais citados por Silva (2008) e aos citados por Possamai (2003) para produtividade de 5.000 kg ha<sup>-1</sup>. A relação Ca:Mg no solo da área experimental aos 80 DAE estava em 4,33:1. A maior relação Ca:Mg e Ca:K contribui para os maiores valores foliares de Ca e menores de Mg e K. O teor de S, acima do adequado, possivelmente deveu-se à elevação da sua disponibilidade permitida pela aplicação de 40 % da dose de N na forma de sulfato de amônio, adubo detentor de 24 % de S.

Quanto aos micronutrientes, os teores de Cu e de B ficaram dentro da faixa de concentração considerada adequada para o algodoeiro; os de Mn e Zn, acima; e os de Fe, abaixo (SILVA, 2008). Os teores de Mn e Zn acima da concentração adequada podem ser devido ao encharcamento do solo que ocorreu na fase inicial da cultura e ao fertilizante foliar aplicado (8 % de Zn), respectivamente. O encharcamento do solo aumenta a concentração da forma Mn<sup>2+</sup> absorvida pelas plantas. O menor teor de Fe pode ser

atribuído à pobreza deste no solo da área experimental e à disponibilidade de P no solo, classificada como média (ALVAREZ V. 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 às plantas (VANCE al., 2003).

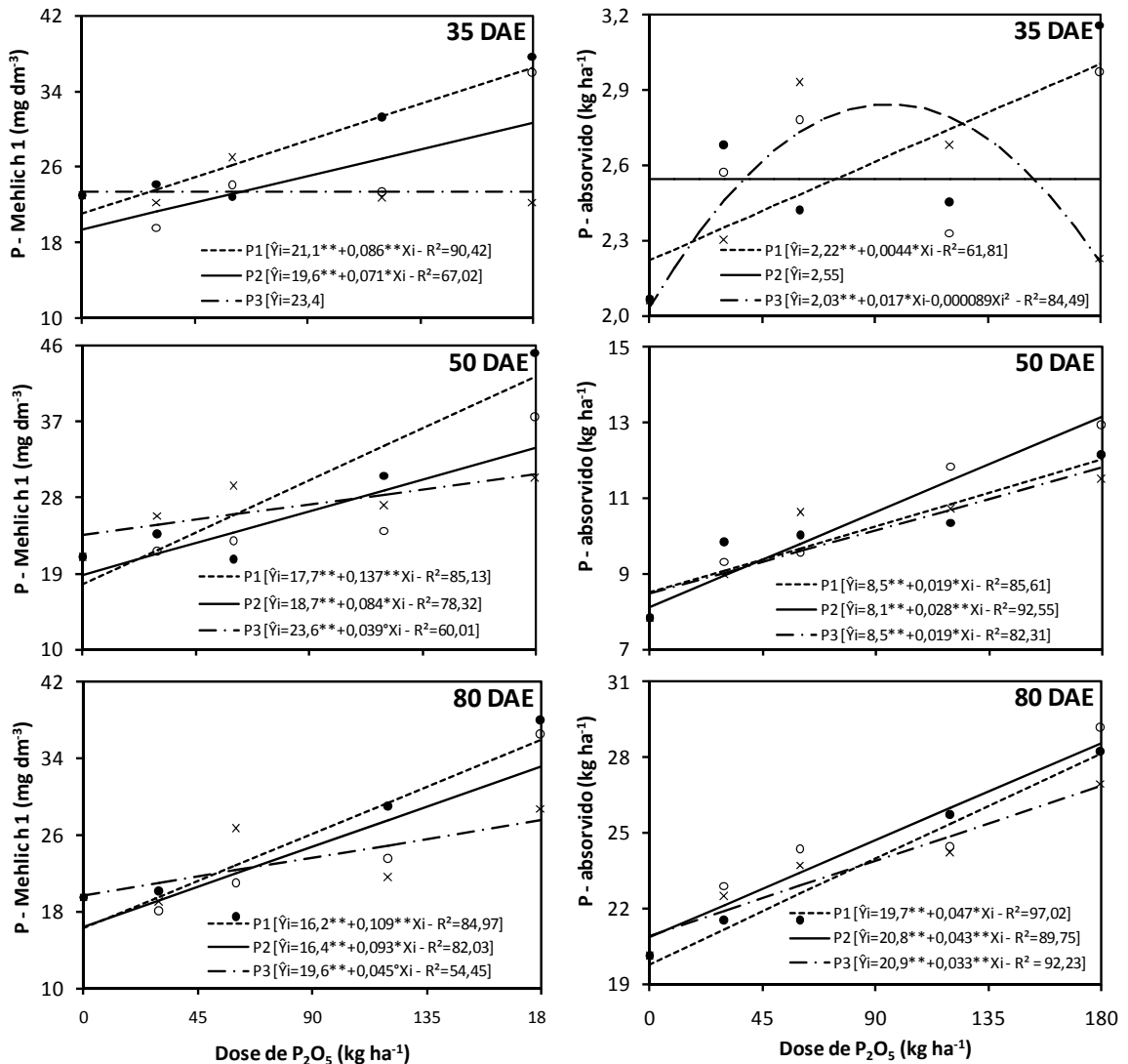
Houve interação doses de P x parcelamento para o número de capulhos por planta (Figura 2). Em todos os parcelamentos o aumento da dose de P incrementou o número de capulhos por planta. Doses de P ou parcelamento não aumentaram o número de estruturas reprodutivas aos 80 DAE (Tabela 2). Entretanto, o P aumenta o pegamento das estruturas reprodutivas, refletindo em maior número de capulhos por planta (SILVA et al. 1990).

Houve aumento linear na eficiência relativa da fertilização fosfatada para todos os parcelamentos (Figura 1). No parcelamento P3 das doses 60 e 120 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, houve redução da eficiência relativa da adubação fosfatada em comparação com a aplicação em semeadura (Tabela 2). Os valores de eficiência relativa, exceto do parcelamento P3, superaram os observados 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, ou seja, o acréscimo de produtividade do produto comercial (algodão em caroço) promovido pela aplicação do fertilizante 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).

As produtividades máximas de algodão em caroço estimadas foram 5700, 6047 e 5644 kg ha<sup>-1</sup> nos parcelamentos P1, P2 e P3, respectivamente (Figura 1). E essas produtividades máximas estimadas foram obtidas com a maior dose de P testada nos parcelamentos P2 e P3 e com a dose 125 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> no parcelamento P1. A aplicação parcelada das doses 60 e 120 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> em comparação à aplicação apenas em semeadura (PS) não incrementou a produtividade de algodão em caroço (Tabela 2). Houve redução da produtividade no parcelamento P3. O não acréscimo da produtividade com a aplicação parcelada do fertilizante fosfatado confirma as observações de que as alternativas para aumento da produtividade e da absorção dos fertilizantes fosfatados (localização, granulação e uso de fontes de menor solubilidade) têm maiores efeitos em condições de solos com maior fator capacidade de P e com baixa disponibilidade do P (HOROWITZ e MEURER, 2003; BÜLL et al., 2004; PROCHNOW et al., 2006).

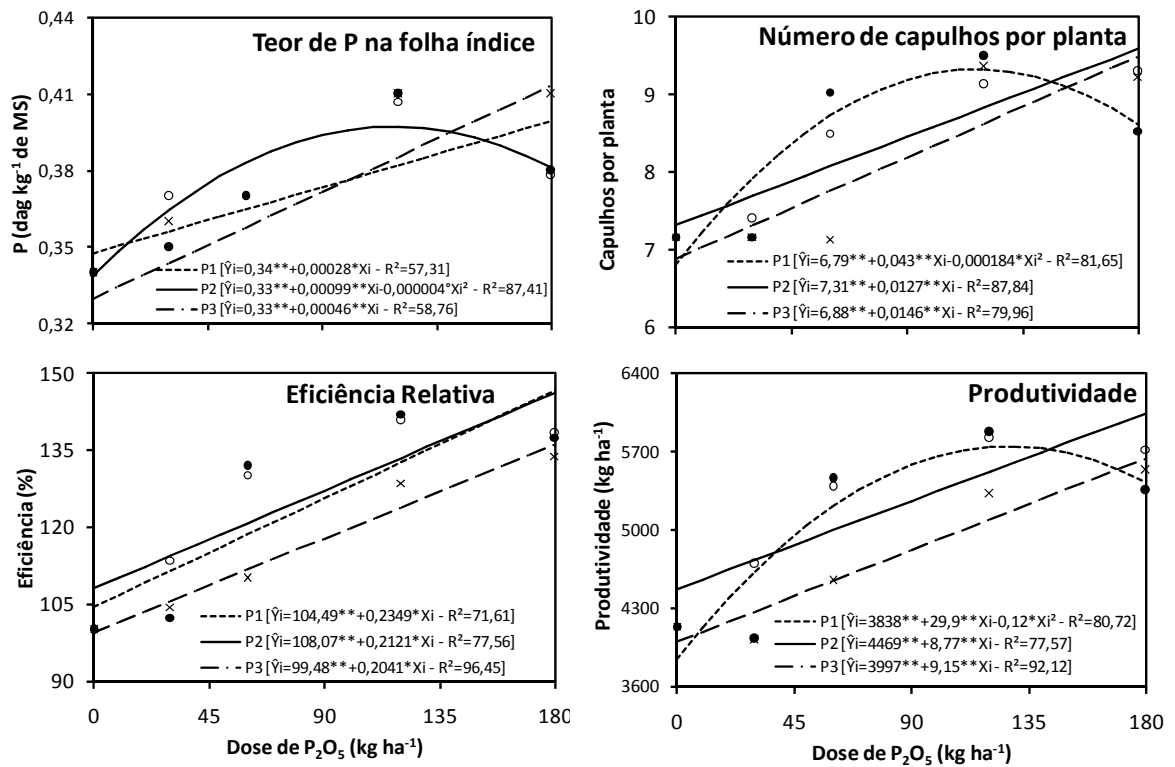
A aplicação parcelada influenciou a absorção de fósforo apenas até aos 35 DAE. Aos 50 e 80 DAE, não houve efeito da aplicação parcelada sobre o P absorvido. Os teores de nutrientes na folha índice, exceto P, não foram influenciados pelas doses de P e parcelamentos. Em Neossolo Quartazarênico, com disponibilidade de P classificada de

média, a aplicação de 40 % da dose de P em sementeira e do restante em cobertura aos 35 DAE promoveu redução da eficiência relativa da adubação fosfatada e da produtividade de algodão em caroço.

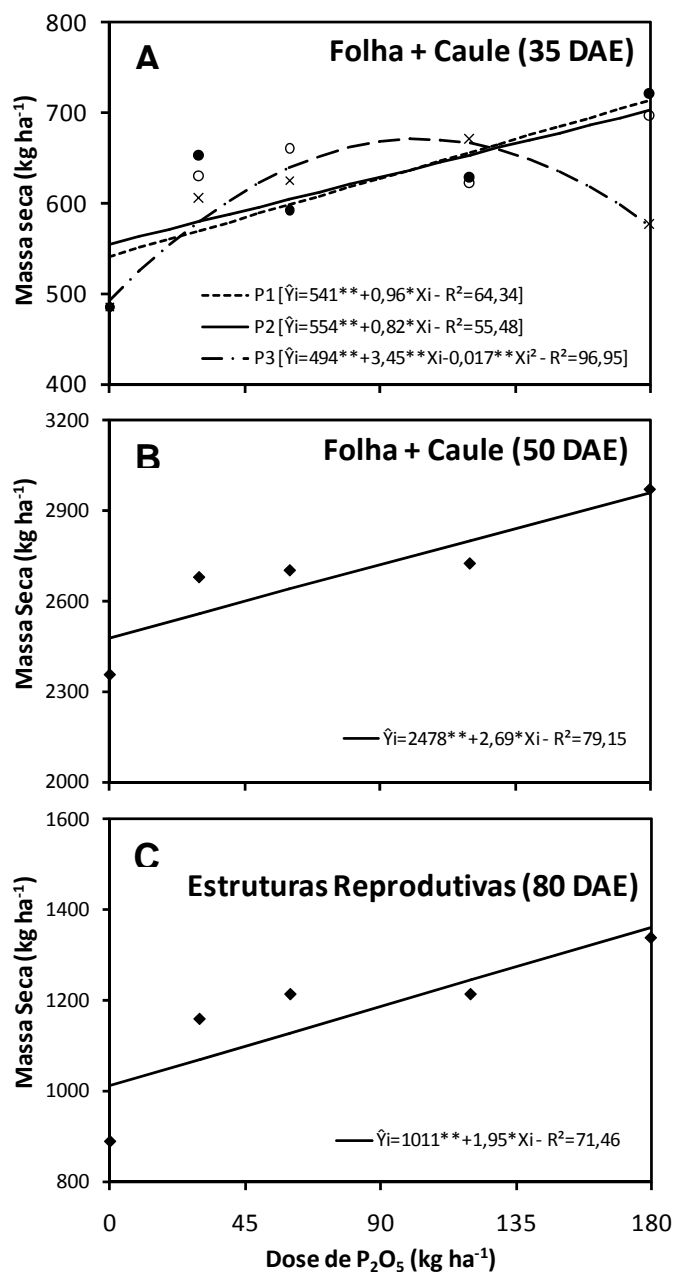


**Figura 1.** Fósforo disponível no solo pelo extrator Mehlich – 1 e P – absorvido contido na parte aérea aos 35, 50 e 80 dias após a emergência (DAE), em função de doses de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e parcelamentos. Januária - MG, IF do Norte de Minas Gerais – Campus Januária, 2009.

Parcelamentos: • P1 (80 % da dose de P em sementeira e 20 % aos 35 DAE); ° P2 (60 % da dose de P em sementeira e 40 % aos 35 DAE); x P3 (40 % da dose de P em sementeira e 60 % aos 35 DAE).



**Figura 2.** Teor de P na folha índice aos 80 DAE, número de capulhos por planta, eficiência relativa e produtividade de algodão em caroço, em função de doses de  $P_2O_5$  e parcelamentos. Januária - MG, IF do Norte de Minas Gerais – Campus Januária, 2009. Parcelamentos: • P1 (80 % da dose de P em semeadura e 20 % aos 35 DAE); ° P2 (60 % da dose de P em semeadura e 40 % aos 35 DAE); x P3 (40 % da dose de P em semeadura e 60 % aos 35 DAE).



**Figura 3.** Massa de parte aérea seca (folha + caule) aos 35 e 50 DAE e de estruturas reprodutivas secas aos 80 DAE, em função de doses de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Januária - MG, IF do Norte de Minas Gerais – Campus Januária, 2009.

Parcelamentos: • P1 (80 % da dose de P em semeadura e 20 % aos 35 DAE); ° P2 (60 % da dose de P em semeadura e 40 % aos 35 DAE); x P3 (40 % da dose de P em semeadura e 60 % aos 35 DAE).

**Tabela 2.** Efeito do parcelamento do fertilizante fosfatado na cultura do algodão sobre P-disponível, massa de parte aérea seca, número e massa estruturas reprodutivas secas, P-absorvido, teor de P na folha índice, componentes de produção, eficiência relativa e produtividade de algodão em caroço. Januária - MG, IF do Norte de Minas Gerais – Campus Januária, 2009.

Doses de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (kg ha <sup>-1</sup> )	0					60					120									
	Parcelamentos					PS	P1	P2	P3	PS	P1	P2	P3	PS	P1	P2	P3			
P-“disponível” (35 DAE)	22,9 <sup>ns/4</sup>	28,5	22,8 <sup>ns</sup>	24,0 <sup>ns</sup>	26,9 <sup>ns</sup>	22,9 <sup>ns</sup>	28,0	31,2 <sup>ns</sup>	18,9 <sup>ns</sup>	22,7 <sup>ns</sup>	22,9 <sup>ns</sup>	28,0	31,2 <sup>ns</sup>	18,9 <sup>ns</sup>	22,7 <sup>ns</sup>	22,9 <sup>ns</sup>	28,0	31,2 <sup>ns</sup>	18,9 <sup>ns</sup>	22,7 <sup>ns</sup>
P-“disponível” (50 DAE)	20,8 <sup>ns</sup>	22,8	20,6 <sup>ns</sup>	22,8 <sup>ns</sup>	29,3 <sup>ns</sup>	20,8 <sup>ns</sup>	27,2	30,6 <sup>ns</sup>	24,1 <sup>ns</sup>	27,0 <sup>ns</sup>	20,8 <sup>ns</sup>	27,2	30,6 <sup>ns</sup>	24,1 <sup>ns</sup>	27,0 <sup>ns</sup>	20,8 <sup>ns</sup>	27,2	30,6 <sup>ns</sup>	24,1 <sup>ns</sup>	27,0 <sup>ns</sup>
P-“disponível” (80 DAE)	19,5 <sup>ns</sup>	19,9	17,5 <sup>ns</sup>	20,9 <sup>ns</sup>	26,6 <sup>ns</sup>	19,5 <sup>ns</sup>	22,6	28,9 <sup>ns</sup>	17,0 <sup>ns</sup>	21,6 <sup>ns</sup>	19,5 <sup>ns</sup>	22,6	28,9 <sup>ns</sup>	17,0 <sup>ns</sup>	21,6 <sup>ns</sup>	19,5 <sup>ns</sup>	22,6	28,9 <sup>ns</sup>	17,0 <sup>ns</sup>	21,6 <sup>ns</sup>
Massa de Parte Aérea Seca <sup>1</sup> - 35 DAE (kg ha <sup>-1</sup> )	486 *	570	591 <sup>ns</sup>	660 *	702 *	486 *	760	628 *	622 *	671 *	486 *	760	628 *	622 *	671 *	486 *	760	628 *	622 *	671 *
Massa de Parte Aérea Seca - 50 DAE (kg ha <sup>-1</sup> )	2357 <sup>ns</sup>	2524	2606 <sup>ns</sup>	2605 <sup>ns</sup>	3078 <sup>ns</sup>	2357 <sup>ns</sup>	3228	2569 <sup>ns</sup>	2676 <sup>ns</sup>	2426 <sup>ns</sup>	2357 <sup>ns</sup>	3228	2569 <sup>ns</sup>	2676 <sup>ns</sup>	2426 <sup>ns</sup>	2357 <sup>ns</sup>	3228	2569 <sup>ns</sup>	2676 <sup>ns</sup>	2426 <sup>ns</sup>
Massa de ER <sup>2</sup> seca - 80 DAE (kg ha <sup>-1</sup> )	889 <sup>ns</sup>	1105	1149 <sup>ns</sup>	1385 <sup>ns</sup>	1211 <sup>ns</sup>	889 <sup>ns</sup>	1113	1143 <sup>ns</sup>	1434 <sup>ns</sup>	1162 <sup>ns</sup>	889 <sup>ns</sup>	1113	1143 <sup>ns</sup>	1434 <sup>ns</sup>	1162 <sup>ns</sup>	889 <sup>ns</sup>	1113	1143 <sup>ns</sup>	1434 <sup>ns</sup>	1162 <sup>ns</sup>
Massa de Parte Aérea Seca - 80 DAE (kg ha <sup>-1</sup> )	6626 <sup>ns</sup>	7529	6449 <sup>ns</sup>	8091 <sup>ns</sup>	7398 <sup>ns</sup>	6626 <sup>ns</sup>	6403	7570 *	7109 <sup>ns</sup>	7264 <sup>ns</sup>	6626 <sup>ns</sup>	6403	7570 *	7109 <sup>ns</sup>	7264 <sup>ns</sup>	6626 <sup>ns</sup>	6403	7570 *	7109 <sup>ns</sup>	7264 <sup>ns</sup>
Número de Estruturas reprodutivas	98 <sup>ns</sup>	119	106 <sup>ns</sup>	108 <sup>ns</sup>	106 <sup>ns</sup>	98 <sup>ns</sup>	106	102 <sup>ns</sup>	99 <sup>ns</sup>	101 <sup>ns</sup>	98 <sup>ns</sup>	106	102 <sup>ns</sup>	99 <sup>ns</sup>	101 <sup>ns</sup>	98 <sup>ns</sup>	106	102 <sup>ns</sup>	99 <sup>ns</sup>	101 <sup>ns</sup>
P contido na parte aérea – 35 DAE (kg ha <sup>-1</sup> )	2,1 <sup>ns</sup>	2,1	2,4 <sup>ns</sup>	2,8 *	2,9 *	2,1 *	3,1	2,5 *	2,3 *	2,7 *	2,1 <sup>ns</sup>	2,1	2,4 <sup>ns</sup>	2,8 *	2,9 *	2,1 *	3,1	2,5 *	2,3 *	2,7 *
P contido na parte aérea – 50 DAE (kg ha <sup>-1</sup> )	7,8 <sup>ns</sup>	8,8	10,0 <sup>ns</sup>	9,6 <sup>ns</sup>	11,9 <sup>ns</sup>	7,8 <sup>ns</sup>	13,2	9,3 <sup>ns</sup>	10,3 <sup>ns</sup>	9,1 <sup>ns</sup>	7,8 <sup>ns</sup>	13,2	9,3 <sup>ns</sup>	10,3 <sup>ns</sup>	9,1 <sup>ns</sup>	7,8 <sup>ns</sup>	13,2	9,3 <sup>ns</sup>	10,3 <sup>ns</sup>	9,1 <sup>ns</sup>
P contido nas ER – 80 DAE (kg ha <sup>-1</sup> )	5,7 <sup>ns</sup>	6,1	6,4 <sup>ns</sup>	7,8 <sup>ns</sup>	7,1 <sup>ns</sup>	5,7 <sup>ns</sup>	6,4	6,6 <sup>ns</sup>	7,8 <sup>ns</sup>	6,8 <sup>ns</sup>	5,7 <sup>ns</sup>	6,4	6,6 <sup>ns</sup>	7,8 <sup>ns</sup>	6,8 <sup>ns</sup>	5,7 <sup>ns</sup>	6,4	6,6 <sup>ns</sup>	7,8 <sup>ns</sup>	6,8 <sup>ns</sup>
P contido na parte aérea <sup>3</sup> – 80 DAE (kg ha <sup>-1</sup> )	20,1 <sup>ns</sup>	23,9	21,5 <sup>ns</sup>	26,8 <sup>ns</sup>	25,0 <sup>ns</sup>	20,1 <sup>ns</sup>	25,9	25,8 <sup>ns</sup>	22,7 <sup>ns</sup>	24,2 <sup>ns</sup>	20,1 <sup>ns</sup>	25,9	25,8 <sup>ns</sup>	22,7 <sup>ns</sup>	24,2 <sup>ns</sup>	20,1 <sup>ns</sup>	25,9	25,8 <sup>ns</sup>	22,7 <sup>ns</sup>	24,2 <sup>ns</sup>
Teor de P na folha índice – 80 DAE (dag kg <sup>-1</sup> )	0,34 <sup>ns</sup>	0,34	0,36 <sup>ns</sup>	0,37 <sup>ns</sup>	0,31 <sup>ns</sup>	0,34 <sup>ns</sup>	0,38	0,42 <sup>ns</sup>	0,42 <sup>ns</sup>	0,41 <sup>ns</sup>	0,34 <sup>ns</sup>	0,38	0,42 <sup>ns</sup>	0,42 <sup>ns</sup>	0,41 <sup>ns</sup>	0,34 <sup>ns</sup>	0,38	0,42 <sup>ns</sup>	0,42 <sup>ns</sup>	0,41 <sup>ns</sup>
Massa de Capulho (g)	5,6 <sup>ns</sup>	6,6	5,8 <sup>ns</sup>	6,1 <sup>ns</sup>	6,1 <sup>ns</sup>	5,6 <sup>ns</sup>	6,0	5,9 <sup>ns</sup>	6,2 <sup>ns</sup>	5,5 <sup>ns</sup>	5,6 <sup>ns</sup>	6,0	5,9 <sup>ns</sup>	6,2 <sup>ns</sup>	5,5 <sup>ns</sup>	5,6 <sup>ns</sup>	6,0	5,9 <sup>ns</sup>	6,2 <sup>ns</sup>	5,5 <sup>ns</sup>
Número de Capulhos por Planta	7,2 <sup>ns</sup>	7,7	9,1 <sup>ns</sup>	8,5 <sup>ns</sup>	7,2 <sup>ns</sup>	7,2 *	9,5	9,5 <sup>ns</sup>	9,1 <sup>ns</sup>	9,4 <sup>ns</sup>	7,2 *	9,5	9,5 <sup>ns</sup>	9,1 <sup>ns</sup>	9,4 <sup>ns</sup>	7,2 *	9,5	9,5 <sup>ns</sup>	9,1 <sup>ns</sup>	9,4 <sup>ns</sup>
Eficiência relativa (%)	100 *	135	132 <sup>ns</sup>	130 <sup>ns</sup>	110 *	100 *	143	142 <sup>ns</sup>	141 <sup>ns</sup>	129 *	100 *	143	142 <sup>ns</sup>	141 <sup>ns</sup>	129 *	100 *	143	142 <sup>ns</sup>	141 <sup>ns</sup>	129 *
Produtividade de algodão em caroço (kg ha <sup>-1</sup> )	4136 *	5252	5459 <sup>ns</sup>	53868 <sup>ns</sup>	4549 *	4136 *	5905	5877 <sup>ns</sup>	5826 <sup>ns</sup>	5321 *	4136 *	5905	5877 <sup>ns</sup>	5826 <sup>ns</sup>	5321 *	4136 *	5905	5877 <sup>ns</sup>	5826 <sup>ns</sup>	5321 *

<sup>1</sup> Folha+caule; <sup>2</sup> ER = estruturas reprodutivas; <sup>3</sup> Folha+caule+estruturas reprodutivas; <sup>4</sup> \*, ns = significativa e não significativa a diferença entre a média do tratamento em relação aos tratamentos PS para as doses 60 ou 120 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, pelo teste Dunnett a 5 % de probabilidade; PS = aplicação do P apenas em semeadura; P1, P2 e P3 (80, 60 e 40 % da dose de P em semeadura e 20, 40 e 60 % em cobertura aos 35 DAE, respectivamente).

**Tabela 3.** Teor e conteúdo de fósforo nas folhas, caules e estruturas reprodutivas secas do algodoeiro aos 35, 50 e 80 DAE. Januária - MG, IF do Norte de Minas Gerais – Campus Januária, 2009

Amostragem	Órgão da Planta	Teor de P		P absorvido	
		dag kg <sup>-1</sup>	CV (%)	kg ha <sup>-1</sup>	CV (%)
35 DAE	Folha	0,46	9,7	1,8	17,8
	Caule	0,33	13,9	0,7	23,0
50 DAE	Folha	0,52	10,7	8,6	31,1
	Caule	0,25	13,6	2,5	28,7
80 DAE	Folha	0,36	13,6	11,8	25,9
	Caule	0,20	13,7	5,9	26,8
	ER <sup>/1</sup>	0,59	9,4	6,9	26,2

<sup>/1</sup> Estruturas reprodutivas.

**Tabela 4.** Teor de nutrientes na folha índice do algodoeiro aos 80 dias após a semeadura. Januária - MG, IF do Norte de Minas Gerais – Campus Januária, 2009

Nutriente	Teor		CV (%)
	dag kg <sup>-1</sup>		
N	3,31	11,34	
K	1,35	14,62	
Ca	4,65	5,83	
Mg	0,37	12,96	
S	0,99	10,53	
	mg kg <sup>-1</sup>		
Cu	13,80	17,60	
Fe	71,52	24,91	
Mn	424,42	25,42	
Zn	130,03	13,60	
B	38,28	21,09	

### 3.6 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVAREZ V., 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. V.H. (Eds) Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª Aproximação. Viçosa, MG, Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. p. 25-32.
- ALVAREZ V., V.H.; NOVAIS, R.F.; DIAS, L.E.; OLIVEIRA, J.A. Determinação e uso do fósforo remanescente. **Boletim Informativo**: SBCS, 25:27-32, 2000.
- BERNARDO, S.; SOARES, A.A.; MANTOVANI, E.C. Manual de Irrigação. Ed. 6, Viçosa: UFV, 2006. 625 p.
- BLANCHAR, R.W.; REHM, G.; CALDWELL, A.C. Sulfur in plant material by digestion with nitric and perchloric acid. **Proceedings-Soil Science Society of America**, v. 29, n. 1, p. 71-72, 1965.
- BRAGA, J.M.; DEFELIPO, B. Determinação espectrofotométrica de fósforo em extratos de solos e plantas. **Revista Ceres**, Viçosa, 21(113): 73-85, 1974.
- 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, n. 5, p. 516-521, 2004.
- CATALDO, D.A.; HAROON, M.; SCHRADER, L.E.; YOUNGS, V.L. Rapid colorimetric determination of nitrate in plant tissue by nitrification of salicylic acid. **Communication in Soil Science and Plant Analysis**, v. 6, p. 71-80, 1975.
- FRYE, I.A.A.; KAIRUZ, I.A.G. **Manejo de suelos y uso de fertilizantes**. In: Federación Nacional de Algodoeiros. Bases técnicas para el cultivo del algodón em Colombia. Bogotá: Guadalupe, 1990. p. 133-202.
- 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.
- JACKSON, M.L. Nitrogen determination for soil and plant tissue. In: JACKSON, M.L. **Soil chemical Analysis**. Englewood Cliffs: Prentice Hall, 1958. p. 183-204.
- 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**, 9: 237-243, 1985.

- NOVAIS, R.F.; SMYTH, T.J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. Viçosa: UFV, 1999. 399 p.
- POSSAMAI, J.M. **Sistema de recomendação de corretivos e fertilizantes para o cultivo do algodoeiro**. Viçosa: UFV, 2003. 91 f. (Dissertação de Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas).
- 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 Agricola**, v. 63, n. 4, 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**, Viçosa, v. 30, p. 453-466, 2006.
- ROSOLEM, C.A.; BASTOS, G.B. Deficiências minerais no cultivar de algodão IAC 22. **Bragantia**, 56(2): 377-387, 1997.
- SAEG – Sistema para Análises Estatísticas, Versão 9.1: Fundação Arthur Bernardes – UFV – Viçosa, 2007.
- 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. (Eds) Nutrição de plantas: diagnose foliar em grandes culturas. Jaboticabal: FCAV, Capes/Fundunesp, 2008. p. 251-266.
- 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**, Campinas, V. 49, n. 1, p. 157-170, 1990.
- SOUZA, F.S; FARINELLI, R. ROSOLEM, C.A. Desenvolvimento radicular do algodoeiro em resposta à localização do fertilizante. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, p. 387-392, 2007.
- VANCE, C.P.; STONE, C.U.; ALLAN, D.L. Phosphorus acquisition and use: critical adaptations by plants for securing a nonrenewable resource. **New Phytologist**, 157: 423-447, 2003.
- WOLF, B. Improvements in azomethine-H method for determination of boron. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 5, n. 1, p. 39-44, 1974.

## **4 – FÓSFORO ABSORVIDO E PRODUTIVIDADE DO ALGODOEIRO EM RESPOSTA À GRANULOMETRIA E À FONTE DE FÓSFORO APLICADO EM COBERTURA EM NEOSSOLO QUARTZARÊNICO**

### **4.1 - RESUMO**

A maioria das regiões de cultivo do algodoeiro no Brasil apresenta problemas relacionados à baixa fertilidade dos solos, em especial a de fósforo. Objetivou-se estudar o efeito da granulometria e da fonte de fósforo aplicada em cobertura na cultura do algodão irrigado, 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. O experimento constou de sete tratamentos: seis formas de aplicação parcelada da dose  $60 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$  mais um tratamento sem P. As formas de aplicação do fertilizante foram: PS (P em semeadura); P1, P2 e P3 [80/20; 60/40; 40/60 % da dose do fertilizante fosfatado aplicado, na semeadura e aos 35 dias após a emergência (DAE), respectivamente]; além do tratamento P2 com a parcela do P em cobertura via MAP (P2 – MAP) ou via superfosfato triplo em pó (P2 – STP). A parcela aplicada de P na semeadura em todos os tratamentos e a aplicada em cobertura em P1, P2 e P3 foi via superfosfato triplo granulado. A aplicação parcelada influenciou a absorção de fósforo apenas aos 50 DAE. Aos 35 e 80 DAE, não houve efeito dos tratamentos sobre o P absorvido. Os teores de nutrientes na folha índice, exceto P, não foram influenciados pelo P aplicado ou pela sua forma de aplicação. A aplicação parcelada do P, utilizando-se MAP em cobertura, aumentou o teor de P na folha índice. A granulometria do Superfosfato Triplo ou a fonte de P utilizada (MAP ou Superfosfato Triplo) não influenciaram a produtividade do algodão. Em Neossolo Quartzarênico com disponibilidade de P média, a aplicação de 40 % da dose de P em semeadura e do restante em cobertura aos 35 DAE reduziu a eficiência relativa da adubação fosfatada e a produtividade de algodão em caroço.

**Palavras – chave:** eficiência relativa, MAP, *Gossypium hirsutum* L.

### **4.2 - ABSTRACT**

The majority of regions where cotton is cultured in Brazil present problems related to the low fertility of soil, in special of phosphorus. The objective of this study was the effect of the granulometry and the source of phosphorus applied in covering on

the irrigated cotton culture, aiming the bigger efficiency of the phosphate fertilization, in comparison to the traditional application, only in sowing. The experiment was carried out in Quartzanic Neossoil, in the North region of Minas Gerais. The experiment consisted of seven treatments: six forms of parceled application of the dose 60 kg ha<sup>-1</sup> of P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, plus another treatment, without P. The mode of application of the fertilizer were: PS (P in sowing); P1, P2 and P3 [80/20; 60/40; 40/60 % of the dose of the fertilizer phosphate applied, in sowing and 35 days after the emergence (DAE), respectively]; besides the P2 treatment with the parcel of the P in covering via MAP (P2 - MAP) or via triple superphosphate in powder (P2 - STP). The applied parcel of P in the sowing in all treatments and the applied in covering in P1, P2 and P3 was via triple superphosphate granulated. The parceled application influenced the absorption of phosphorus only at the 50 DAE. At 35 and 80 DAE it did not have effect of the treatments on the absorbed P. The nutrients quantities in the leaf index, except P, were not influenced by the applied P or its way of application. The parceled application of P, using MAP in covering, increased the P quantity in the leaf index. The granulometry of Triple Superphosphate or the P source used (MAP or Triple Superphosphate) did not influenced cotton productivity. In Quartzanic Neossoil with availability of average P, the application of 40% of the dose of P in sowing and the remaining in covering at 35 DAE, reduced the relative efficiency of the phosphate fertilization and the productivity of cotton in boll.

**Keywords:** relative efficiency of the phosphate fertilization, monoammonium phosphate, *Gossypium hirsutum* L.

### 4.3 - 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, se medidas adequadas de correção da carência do elemento não forem tomadas. Em condições ácidas, o P no solo torna-se indisponível às plantas, pela rápida formação de complexos insolúveis com cátions, especialmente Al e Fe (VANICE et al., 2003).

No algodoeiro, os principais sintomas de deficiência de P caracterizam-se por atraso no desenvolvimento e coloração verde escura intensa com manchas ferruginosas no limbo foliar. Ademais, pode ocorrer necrose de botões florais nas partes mais novas das plantas e amarelecimento das folhas mais velhas, devido à menor absorção de N e

Mg. Há formação de fibras imaturas, capulhos menores e leves e que não se abrem (ROSOLEM e BASTOS, 1997).

A formação de P não-lábil a partir do P lábil é muito rápida e de reversibilidade pequena ou inexistente no curto prazo (NOVAIS e SMYTH, 1999). Gonçalves et al. (1985) aplicaram  $50 \text{ mg kg}^{-1}$  de P em solos de diferentes classes e texturas, pobres em P, e demonstraram que, em média, após 192 h de contato do P com o solo, mais de 90 % do P aplicado foi adsorvido.

Para reduzir fixação do P aplicado via fertilizantes ao solo, uma das opções é aumentar a concentração do nutriente em volume restrito do solo (localização). Desta forma, reduz-se o volume total de solo fertilizado em contato com a dose de P aplicada (BÜLL et al., 2004). A localização, no entanto, deve ser próxima o máximo possível da semente para reduzir o contato da fonte de P com o solo, mas deve garantir o desenvolvimento de um volume mínimo de raízes. A localização excessiva do fertilizante fosfatado pode levar ao desenvolvimento insuficiente do sistema radicular e por consequência, à deficiência de elementos como Fe e Cu (NOVAIS e SMYTH, 1999).

Em um estudo em que se avaliou o desenvolvimento radicular do algodoeiro em resposta à localização do fertilizante, a aplicação do fertilizante muito próximo às sementes resultou em menor comprimento de raízes e em menor absorção de minerais (SOUZA et al., 2007). A eficiência da localização no aumento da eficiência de absorção depende do teor de P do solo e do fator capacidade de P. Em solos com alta disponibilidade de P, o efeito da localização do fertilizante fosfatado para aumento da eficiência de absorção tende a ser menor, ou mesmo nulo, em comparação com aqueles com baixa disponibilidade do nutriente (BÜLL et al., 2004).

O processo de granulação de fertilizantes tem objetivo similar ao da localização, ou seja, reduzir o contato da fonte solúvel de P com o solo (NOVAIS e SMYTH, 1999). Os grânulos dos adubos fosfatados, ao entrar em contato com a umidade do solo, absorvem água, ocasionando a dissolução do P. Entretanto, o tamanho do grânulo do fertilizante pode influenciar a dissolução e o efeito residual no solo (STEFANUTTI et al., 1995).

O processo principal de transporte de P no solo é a difusão (NOVAIS e SMYTH, 1999). Para o P, este processo depende do cátion acompanhante do  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ . O fluxo difusivo de P com a aplicação do monoamônio fosfato (MAP) foi maior, comparado com a aplicação do superfosfato triplo. Em solo arenoso, o aumento foi de 20 % na difusão de P e chegou a 125 % no argiloso (VILLANI, 1995).

Em algodão, a aplicação da dose de 726 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, parcelada ao longo de seis anos no sulco de semeadura ou no primeiro e quarto ano a lanço, proporcionou maior produtividade e efeitos positivos na qualidade da fibra quando comparada à aplicação a lanço em dose única no primeiro ano (SILVA et al., 1990). O maior tempo de contato da fonte solúvel de P com o solo aumenta a quantidade do elemento fixada ao solo e reduz a difusão do nutriente para as raízes (VELLANI, 1995).

No algodoeiro, a demanda por P é alta desde o início da formação dos botões florais até a maturação (FRYE e KAIRUZ, 1990). Assim, o parcelamento do P, ao diminuir o tempo de contato da fonte fosfatada solúvel com o solo, pode contribuir para diminuir a fixação do P pelo solo. Maiores produtividades para uma mesma dose de P ou menores doses de P para as produtividades atualmente obtidas podem ser alcançadas por meio do parcelamento do fertilizante fosfatado. É possível resposta diferencial do parcelamento das diferentes fontes de P e de sua granulometria.

Objetivou-se avaliar a absorção de P, os teores de nutrientes na folha índice do algodoeiro, a eficiência relativa da adubação fosfatada e a produtividade de algodão em caroço como variável da granulometria e da fonte de fósforo aplicada de forma parcelada, no cultivo irrigado em Neossolo Quartzarênico.

#### **4.4 - 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 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 da camada de 0-20 e de 20-40 cm de profundidade estão expressos na Tabela 1.

O delineamento experimental foi de blocos ao acaso, com três repetições. Os tratamentos consistiram das formas de aplicação da dose 60 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, recomendada de acordo a disponibilidade de P no solo e critérios de adubação para a cultura do algodão (CFSEMG, 1999). As formas de aplicação foram: aplicação tradicional (PS - P em semeadura), aplicação parcelada P1, P2 e P3 (80/20; 60/40; 40/60 % da dose do fertilizante fosfatado aplicada em semeadura e aos 35 DAE, respectivamente). As formas de aplicação PS, P1, P2 e P3 foram feitas na semeadura, e na cobertura, no caso das aplicações parceladas, utilizou-se o superfosfato triplo

granulado (41 % de  $P_2O_5$ ). Ainda se avaliou a aplicação P2, com aplicação em cobertura do Monoamônio Fosfato (51 %  $P_2O_5$ ) (P2 – MAP) ou superfosfato triplo moído (P2 – STP) passado em peneira de 1,27 mm. Nas formas de aplicação P2 – MAP e P2 – STP, utilizou-se o superfosfato triplo granulado na parcela aplicada em semeadura. Além das seis formas de aplicação acima, avaliou-se a não aplicação do P, totalizando sete tratamentos.

Cada unidade experimental constituiu-se de cinco fileiras de 6 m de comprimento. A área útil correspondeu às três fileiras centrais, sem 50 cm das extremidades. A parcela do P em cobertura foi feita incorporada aos 35 DAE, a 10 cm de profundidade e a 20 cm da fileira de plantas.

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

Características	Profundidade (cm)	
	0-20	20-40
pH (H <sub>2</sub> O, 1:2,5)	6,2	6,1
P (mg dm <sup>-3</sup> ) <sup>1</sup>	22,0	15,9
K (mg dm <sup>-3</sup> ) <sup>1</sup>	73	50
Ca <sup>2+</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ) <sup>2</sup>	1,5	1,0
Mg <sup>2+</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ) <sup>2</sup>	0,4	0,1
Al <sup>3+</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ) <sup>2</sup>	0,0	0,0
H+Al (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ) <sup>3</sup>	2,4	1,0
T (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	4,5	2,2
Matéria Orgânica (dag kg <sup>-1</sup> ) <sup>4</sup>	0,5	0,6
P rem (mg L <sup>-1</sup> ) <sup>5</sup>	50,2	51,5
S (mg dm <sup>-3</sup> ) <sup>6</sup>	5,6	6,4
B (mg dm <sup>-3</sup> ) <sup>7</sup>	0,26	0,22
Zn (mg dm <sup>-3</sup> ) <sup>1</sup>	4,6	1,3
Mn (mg dm <sup>-3</sup> ) <sup>1</sup>	70,9	15,4
Cu (mg dm <sup>-3</sup> ) <sup>1</sup>	0,3	0,2
Fe (mg dm <sup>-3</sup> ) <sup>1</sup>	13,2	6,8
Areia Grossa (dag kg <sup>-1</sup> )	30	26
Areia Fina (dag kg <sup>-1</sup> )	57	56
Silte (dag kg <sup>-1</sup> )	3	4
Argila (dag kg <sup>-1</sup> )	10	14
Classificação Textural	Areia - Franca	Franco - arenosa
Capacidade de Campo (kg kg <sup>-1</sup> )*	0,100	0,094
Ponto de Murcha (kg kg <sup>-1</sup> )**	0,044	0,040

\*\*\* -10 e -1500 kPa, respectivamente; Extratores: (1) Mehlich – 1; (2) KCl 1 mol L<sup>-1</sup>. (3) Ca(OAc)<sub>2</sub> 0,5 mol L<sup>-1</sup>, pH 7; (4) Walkley e Black; (5) P - rem = Fósforo remanescente (ALVAREZ V. et al., 2000); (6) Fosfato monocálcico em ácido acético; (7) Água quente.

A recomendação de corretivo e adubações, exceto fosfatada, foi realizada de acordo com resultados de análise de solo, seguindo as recomendações para a cultura pelo Ferticalc Algodoeiro (POSSAMAI, 2003). O Ferticalc consiste de 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<sup>-1</sup>, respectivamente.

Em cobertura, foram aplicados 188 kg ha<sup>-1</sup> de N e 116 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O, parcelados em três aplicações aos 25, 35 e 45 dias após a emergência (DAE). Foram utilizados sulfato de amônio e ureia como fontes de N, sendo supridos 40 e 60 % da dose total de N com cada uma das fontes, respectivamente. Utilizou-se sulfato de amônio na semeadura e na primeira cobertura, e ureia nas duas últimas coberturas. A fonte de potássio foi o KCl. Foram aplicados via foliar 5 kg ha<sup>-1</sup> de Fertilis 38<sup>®</sup> 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.

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

Foram realizadas aplicações de inseticidas (Tracer<sup>®</sup>, Endosulfan<sup>®</sup> e Decis<sup>®</sup>) nas doses recomendadas para a cultura, para controle de insetos-praga. Realizaram-se duas aplicações de estrobirulina (Comet<sup>®</sup>) e triazol (Folicur<sup>®</sup>) para controle da Mancha-de-Ramularia.

As irrigações foram realizadas por aspersão convencional. O espaçamento entre aspersores foi de 12 x 12 m. A lâmina média aplicada foi de 7,2 mm h<sup>-1</sup>. Determinou-se a uniformidade pelo Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC), o qual foi de 83 %. 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 (FAO 56). A evapotranspiração da cultura foi calculada pelo produto da evapotranspiração de referência pelo coeficientes de cultura para o algodoeiro (BERNARDO et al., 2006). Quando a precipitação efetiva foi menor que a evapotranspiração da cultura, aplicou-se a lâmina 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 secas ao ar e tamisadas em peneira de 2 mm, determinou-se o P – “disponível” com o extrator Mehlich - 1.

Coletou-se a parte aérea de quatro plantas da área útil. Essas plantas foram lavadas e tiveram as folhas (do ramo principal e dos ramos frutíferos) separadas dos caules, aos 35 e 50 DAE. Aos 80 DAE, separaram-se as folhas (do ramo principal e dos ramos frutíferos), os caules e as 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 seco até massa constante. Após a secagem, cada órgão da planta foi triturado em moinho tipo Wiley equipado com peneira de 0,127 mm para determinação do teor de P. Após mineralização nítrico – perclórica, dosou-se o P por colorimetria, pelo método de redução do fosfomolibdato pelo ácido ascórbico (BRAGA e DEFELIPO, 1974). Depois da determinação do teor de P, calculou-se a quantidade acumulada em cada parte da planta (conteúdo), por meio do produto entre a massa seca do órgão e o teor de P da respectiva parte da planta. A quantidade total absorvida aos 35, 50 e 80 DAE foi obtida pela soma do conteúdo de P nas folhas, nos caules e nas estruturas reprodutivas.

Aos 80 DAE, realizou-se a contagem do número de estruturas reprodutivas (botões florais, flores, e maçãs). Coletou-se 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. As folhas foram lavadas, secas e trituradas. Dosou-se o P conforme descrito acima. O N-total foi obtido pela soma do  $\text{N-NO}_3^-$  e  $\text{N-NH}_4^+$ , os quais foram dosados de acordo com Cataldo et al. (1975) e Jackson (1958), respectivamente. O B foi determinado colorimetricamente pelo método da Azometina H, após mineralização por via seca em mufla a 550°C (WOLF, 1974). Os demais nutrientes foram analisados após a mineralização nítrico - perclórica. Dosou-se o K por fotometria de emissão de chama; o Ca, Mg, Fe, Mn, Zn e Cu por espectrofotometria de absorção atômica; e o S por turbidimetria do sulfato (BLANCHARD et al., 1965).

Realizou-se a desfolha, utilizando-se carfentrazone – ethyl associado a óleo mineral aos 135 DAE. Procedeu-se à colheita aos 142 DAE. Na colheita, foi determinado o número e massa dos capulhos de vinte plantas de cada parcela. A

produtividade de algodão em caroço foi determinada após a colheita dos capulhos abertos da área útil da parcela. Calculou-se 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, utilizando-se o software estatístico SAEG Versão 9.1 (SAEG, 2007). As médias dos tratamentos foram comparadas à testemunha ( $60 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$  em semeadura - PS) pelo teste Dunnett a 5 % de probabilidade.

#### **4.5 - RESULTADOS E DISCUSSÃO**

A disponibilidade de P no solo aos 35 DAE não foi alterada pelos tratamentos estudados. A disponibilidade nessa época foi de  $21,4 \text{ mg dm}^{-3}$  de P (Mehlich - 1 ). A disponibilidade de P no solo foi alterada pela forma de aplicação aos 50 DAE nos parcelamentos P2 – MAP e P2 – STP e aos 80 DAE no parcelamento P3 (Tabela 2). Nos tratamentos P2 e P3, aplicou-se maior quantidade de P em cobertura em comparação ao parcelamento P1, refletindo-se nas diferenças observadas em relação ao parcelamento PS. A aplicação da parcela em cobertura via monoamônio fosfato (MAP) e superfosfato triplo em pó (STP) acarretou dissolução mais rápida do fertilizante aplicado em cobertura, diferindo da testemunha (PS).

Na aplicação do superfosfato triplo na forma granulada (P2) em cobertura, a dissolução pode ter sido mais lenta, não se refletindo em diferenças significativas em relação ao tratamento PS, em nenhuma das épocas avaliadas. No caso da aplicação em cobertura via MAP, além da menor granulometria em comparação com o superfosfato triplo granulado, o cátion acompanhante do P tem maior coeficiente de difusão, promovendo maior difusão do P e, por conseguinte, maior disponibilidade. A granulometria da fonte aplicada e o cátion ou ânion que acompanham o nutriente aplicado, influenciam na solubilidade e na dissolução do fertilizante e, por consequência, na disponibilidade de um nutriente no solo (VILLANI, 1995; HOROWITZ e MEURER, 2003).

A massa de folhas, caules e estruturas reprodutivas secas e o teor de P nesses órgãos, aos 35, 50 e 80 DAE, não foram influenciados pelas formas de aplicação do fósforo (Tabela 3). A disponibilidade de P no solo é considerada média para a cultura do algodão (ALVAREZ V. et al., 1999). O preparo profundo do solo associado ao crescimento abundante do algodoeiro podem ter levado ao bom aproveitamento do P

disponível no solo, resultando na ausência de efeito da aplicação do fertilizante sobre o teor do nutriente e a produção de massa de parte aérea seca.

Ademais, o uso de técnicas visando ao aumento da eficiência dos fertilizantes fosfatados tem efeito reduzido ou nulo em solos com pequena capacidade de P ou com média a alta disponibilidade de P no solo (HOROWITZ e MEURER, 2003; BÜLL et al., 2004; PROCHNOW et al., 2006). O solo da área experimental possuía pequena capacidade de P (ALVAREZ V. et al., 2000) e disponibilidade de P classificada como média (ALVAREZ V. et al., 1999), o que explica o não efeito do parcelamento no aumento da produção de biomassa vegetativa e do teor de P nessa.

A maior disponibilidade de P no solo aos 50 DAE, auferida pelos tratamentos P2 – MAP e P3, refletiu-se em maior P contido na folha, caule e parte aérea nestes tratamentos aos 50 DAE (Tabela 2). A maior disponibilidade do P no solo não perdurou aos 80 DAE, o que pode ser atribuído ao crescimento radicular e à exploração do perfil do solo. O maior acúmulo de P aos 50 DAE não se refletiu em aumento de produtividade, e no caso do tratamento P3 houve redução da mesma. A menor quantidade da dose total de P aplicada até os 35 DAE, no parcelamento P3, foi mais significativa para a produtividade da cultura do que o maior acúmulo de P aos 50 DAE. A adequada disponibilidade de P, especialmente na fase inicial, estimula o crescimento radicular, o que pode influenciar na produtividade da cultura (RAGHOTHAMA, 1999; GRANT et al., 2001).

O conteúdo de P na parte aérea aos 80 DAE foi de 24,2 kg ha<sup>-1</sup>. Possamai (2003) estimou a demanda de P em 35 kg ha<sup>-1</sup> para produzir 4800 kg ha<sup>-1</sup> de algodão em caroço. O autor observou que 16,5 % da massa total da planta seca se localizou no sistema radicular, cujo teor de P foi de 2,23 g kg<sup>-1</sup>. Considerando os dados do autor acima, pode-se estimar uma absorção total de 27,41 kg ha<sup>-1</sup> de P. Comparativamente aos dados de Possamai (2003), a menor absorção de P pode estar relacionada à menor massa de parte aérea seca produzida no experimento para a produtividade alcançada à época de amostragem. Após os 80 DAE, quando as plantas não mais foram amostradas, significativas quantidades de P possivelmente foram absorvidas. O algodoeiro mantém alta a absorção de P durante boa parte de seu ciclo, resultando em elevadas quantidades absorvidas do nutriente (FRYE e KAIRUZ, 1990).

A aplicação parcelada P2, com a aplicação do MAP em cobertura aumentou o teor de P na folha índice (Tabela 2). O cátion acompanhante do fósforo tem influência no fluxo difusivo do elemento no solo. Cátions mais móveis no solo, como o Na<sup>+</sup> e NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, conferem maior mobilidade ao H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub><sup>-</sup>, quando comparados a um menos móvel,

como o  $\text{Ca}^{2+}$  (Villani, 1995). Independentemente da forma de aplicação, os teores de P na folha índice estão dentro da faixa considerada adequada para a cultura (SILVA, 2008) e acima dos citados por Possamai (2003). Solos com menor fator capacidade apresentam maior nível crítico de determinado elemento para certo nível de produtividade, quando comparado aos solos de maior fator capacidade, especialmente no caso de elementos menos móveis como o P (MUNIZ et al., 1985).

Os teores de nutrientes na folha índice aos 80 DAE, exceto para teor de P, não foram alterados pelas formas de aplicação do P (Tabela 4). Os teores foliares de N, K e Mg observados ficaram dentro da faixa de concentração considerada para a cultura (SILVA, 2008), entretanto, no limite inferior da faixa considerada adequada para produtividades em torno de  $5000 \text{ kg ha}^{-1}$  (POSSAMAI, 2003). Os teores de Ca e de S foram superiores aos valores referenciais citados por Silva (2008) e aos citados por Possamai (2003) para produtividade de  $5000 \text{ kg ha}^{-1}$ . A relação Ca/Mg no solo da área experimental aos 80 DAE, na camada de 0 a 20 cm, foi de 4,3:1. A maior relação Ca/Mg e Ca/K contribui para os maiores valores foliares de Ca e menores de Mg e K (ZANCANARO e TESSARO, 2006). O teor de S acima do considerado adequado deve-se à grande disponibilidade do nutriente no solo, devido a 40 % da dose de N ter sido aplicada via sulfato de amônio (20 % de N e 24 % de S).

Os teores foliares de Cu e de B ficaram dentro da faixa considerada adequada para o algodoeiro, os teores de Mn e Zn acima e o de Fe, abaixo (SILVA, 2008). Os teores foliares de Mn e Zn acima da concentração adequada podem ser devidos ao encharcamento do solo que ocorreu na fase inicial da cultura e ao fertilizante foliar aplicado (8 % de Zn), respectivamente. O menor teor de Fe está relacionado à pobreza do elemento no solo da área experimental e à disponibilidade de P no solo, considerada média (ALVAREZ V. 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 do Fe às plantas (VANCE et al., 2003).

Houve efeito da aplicação do P sobre o número de estruturas reprodutivas aos 80 DAE, número de capulhos por planta e massa de capulhos (Tabela 2). O maior número de estruturas reprodutivas resultou no maior número de capulhos por planta na colheita. Não houve efeito das formas de aplicação sobre essas características. A adequada disponibilidade de P aumenta a emissão de botões florais e seu pegamento. Ademais, o P beneficia incrementos na massa de fibras e das sementes, resultando em maior produtividade da cultura (SILVA et al., 1990; ROSOLEM e BASTOS, 1997).

A eficiência relativa da fertilização fosfatada foi maior em todas as formas de aplicação do fertilizante, em relação à testemunha sem aplicação do P, exceto para a forma de aplicação P3 (Tabela 2). Os valores de eficiência relativa obtidos foram maiores que os observados para a aplicação de superfosfato triplo na cultura do milho em solo com elevado fator capacidade de P (RESENDE et al., 2006). A eficiência relativa, ou seja, o acréscimo de produtividade do produto comercial (algodão em caroço) promovido pela aplicação do fertilizante 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).

A aplicação de P promoveu incremento de produtividade da cultura, exceto no parcelamento P3 (Tabela 2). As aplicações parceladas com até 40 % da dose de P em cobertura (P1 e P2), independentemente das fontes e granulometria utilizadas, não diferiram da aplicação total da dose em semeadura. A aplicação de 40 % da dose de P em semeadura e 60 % em cobertura aos 35 DAE resultou em menor produtividade. De modo geral, as alternativas para aumento da eficiência na absorção dos fertilizantes fosfatados, como foi proposto por meio do parcelamento de fertilizante fosfatado e outras como o uso de fertilizantes granulados, aplicação localizada no sulco de semeadura e fontes de menor solubilidade, têm maiores efeitos em condições de solos com maior fator capacidade de P e com baixa disponibilidade do P (HOROWITZ e MEURER, 2003; BÜLL et al., 2004; PROCHNOW et al., 2006).

O solo da área experimental possuía disponibilidade de P original média (ALVAREZ V. et al., 1999). Para o algodoeiro, nesta classe de disponibilidade esperase acréscimo de produtividade de 10 a 30 %, com a aplicação de 60 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (CFSEMG, 1999). Obteve-se incremento de produtividade com a aplicação do P de 27 % (P2 – STP) a 35 % (PS). Esses incrementos confirmam que a classe de disponibilidade de P e a recomendação de fertilizante fosfatado para o algodoeiro em Minas Gerais estão bem ajustadas para o cultivo em solos arenosos.

A aplicação parcelada influenciou a absorção de fósforo apenas aos 50 DAE. Aos 35 e 80 DAE, não houve efeito da aplicação parcelada sobre o P absorvido. Os teores de nutrientes na folha índice, exceto P, não foram influenciados pelo P ou pela sua forma de aplicação. A aplicação parcelada do P, utilizando-se MAP em cobertura, aumentou o teor de P na folha índice. A granulometria do Superfosfato Triplo ou a fonte de P utilizada (MAP ou Superfosfato Triplo) não influenciaram a produtividade do algodão. Em Neossolo Quartazarênico com disponibilidade de P classificada de média,

a aplicação de 40 % da dose de P em semeadura e do restante em cobertura aos 35 DAE reduziu a eficiência relativa da adubação fosfatada e a produtividade de algodão em caroço.

**Tabela 2.** Efeito do parcelamento, da granulometria e da fonte de fósforo utilizada em cobertura sobre o P – disponível no solo, conteúdo de P, teor de P na folha índice, número de estruturas reprodutivas por planta, massa de capulho, número de capulhos por planta, eficiência relativa e produtividade de algodão em caroço. Januária - MG, IF do Norte de Minas Gerais – Campus Januária, 2009.

Dose de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (kg ha <sup>-1</sup> )	0	60					
		PS	P1	P2	P2 – MAP	P2 – STP	P3
Parcelamentos <sup>1</sup>							
P – disponível <sup>2</sup> – 50 DAE (mg dm <sup>-3</sup> )	24,2	16,2	20,6	22,8	31,1*	26,4*	35,0*
P – disponível – 80 DAE (mg dm <sup>-3</sup> )	19,5	14,7	17,5	20,9	25,2	21,3	31,3*
P contido na parte aérea <sup>3</sup> – 50 DAE (kg ha <sup>-1</sup> )	8,5	8,8	10,0	9,6	12,5*	10,1	11,9*
Teor de P na folha índice (dag kg <sup>-1</sup> de MS)	0,34	0,32	0,29	0,33	0,37*	0,35	0,31
Número de estruturas reprodutivas	98*	108	106	108	107	114	106
Massa de Capulho (g)	5,6*	6,6	5,8	6,1	5,9	6,2	6,1
Número de Capulhos por Planta	6,2*	7,6	8,1	8,5	8,2	8,2	6,8
Eficiência Relativa (%)	100*	135	132	130	128	127	110*
Produtividade de algodão em caroço (kg ha <sup>-1</sup> )	4136*	5587	5459	5386	5295	5285	4549*

<sup>1</sup> Parcelamentos: PS (toda a dose de P em semeadura); P1, P2 e P3 (80/20, 60/40 e 40/60 % da dose de P em semeadura/cobertura aos 35 DAE, respectivamente); MAP e STP (parcela da dose de P aplicada em cobertura via fertilizantes Monoânionio Fosfato e Superfosfato Triplo em pó, respectivamente). <sup>2</sup> extrator Mehlich – 1; <sup>3</sup> parte aérea (folha+caule); \* = significativa a diferença entre a média do tratamento em relação à dose 60 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> não parcelada (PS), pelo teste Dunnett a 5 % de probabilidade.

**Tabela 3.** Massa vegetativa seca, teor e conteúdo de fósforo no algodoeiro. Januária - MG, IF do Norte de Minas Gerais – Campus Januária, 2009.

Amostragem	Órgão da Planta	Matéria Seca		Teor de P		P absorvido	
		kg ha <sup>-1</sup>	CV (%)	dag kg <sup>-1</sup>	CV (%)	kg ha <sup>-1</sup>	CV (%)
35 DAE	Folha	407	16,7	0,47	9,6	1,8	18,8
	Caule	221	14,5	0,33	9,1	0,8	26,8
50 DAE	Folha	1683	14,8	0,45	8,5	6,9	13,9
	Caule	990	14,3	0,26	10,7	2,5	18,8
80 DAE	Folha	3165	12,9	0,37	13,4	11,3	13,1
	Caule	2917	15,1	0,20	11,6	5,7	12,6
	ER <sup>1</sup>	1193	21,9	0,58	8,2	7,2	19,6

**Tabela 4.** Teor de nutrientes na folha índice do algodoeiro aos 80 dias após a emergência. Januária - MG, IF do Norte de Minas Gerais – Campus Januária, 2009.

Nutriente	Teor		CV (%)
	----- dag kg <sup>-1</sup> -----		
N	3,33		6,8
K	1,45		15,7
Ca	4,61		5,3
Mg	0,37		14,3
S	0,97		11,6
	----- mg kg <sup>-1</sup> -----		
Cu	13,68		9,2
Fe	69,75		10,7
Mn	436,69		21,8
Zn	126,86		6,9
B	37,29		20,8

#### 4.6 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVAREZ V., 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. V.H. (Eds) **Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª Aproximação**. Viçosa, MG, Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. p. 25-32.
- BERNARDO, S.; SOARES, A.A.; MANTOVANI, E.C. **Manual de Irrigação**. Ed. 6, Viçosa: UFV, 2006. 625 p.
- BLANCHAR, R.W.; REHM, G.; CALDWELL, A.C. Sulfur in plant material by digestion with nitric and perclórico acid. **Proceedings Soil Science Society of America**, v. 29, p. 71-72, 1965.
- BRAGA, J.M.; DEFELIPO, B. Determinação espectrofotométrica de fósforo em extratos de solos e plantas. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 21, n. 113, p. 73-85, 1974.
- 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, n. 5, p. 516-521, 2004.
- CFSEMG. **Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª Aproximação**. Viçosa, MG, Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. 359 p.
- FRYE, I.A.A.; KAIRUZ, I.A.G. **Manejo de suelos y uso de fertilizantes**. In: Federación Nacional de Algodoeiros. Bases técnicas para el cultivo del algodón em Colombia. Bogotá: Guadalupe, 1990. p. 133-202.
- 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.
- GRANT, C.A.; TOMASIENWICZ, D.J.; FLATEN, D.N.; SHEPPARD, S.C. A importância do fósforo no desenvolvimento inicial da planta. **Informações Agronômicas**, Viçosa, 95: 1-5, 2001.
- HOROWTIZ, N.; MEURER, E.J. Eficiência de dois fosfatos naturais farelados em função do tamanho da partícula. **Ciência Rural**, v. 33, n. 1, p. 41-47, 2003.
- JACSON, M.L. Nitrogen determination for soil and plant tissue. In: JACSON, M.L. **Soil chemical Analysis**. Engiewood Chiffs: Prentice Hall, 1958. p. 183-204.

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*, 9: 237-243, 1985.

NOVAIS, R.F.; SMYTH, T.J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. Viçosa: UFV, 1999. 399 p.

POSSAMAI, J.M. **Sistema de recomendação de corretivos e fertilizantes para o cultivo do algodoeiro**. Viçosa: UFV, 2003. 91 f. (Dissertação de Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas).

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 Agricola*, v. 63, n. 4, p. 333-340, 2006.

RAGHOTHAMA, K.G. Phosphate acquisition. *Annual Review Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 50: 665-696, 1999.

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*, Viçosa, v. 30, p. 453-466, 2006.

ROSOLEM, C.A.; BASTOS, G.B. Deficiências minerais no cultivar de algodão IAC 22. *Bragantia*, 56(2): 377-387, 1997.

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. (Eds) Nutrição de plantas: diagnose foliar em grandes culturas. Jaboticabal: FCAV, Capes/Fundunesp, 2008. p. 251-266.

SAEG – Sistema para Análises Estatísticas, Versão 9.1: Fundação Arthur Bernardes – UFV – Viçosa, 2007.

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*, Campinas, V. 49, n. 1, p. 157-170, 1990.

SOUZA, F.S; FARINELLI, R. ROSOLEM, C.A. Desenvolvimento radicular do algodoeiro em resposta à localização do fertilizante. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 31, p. 387-392, 2007.

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.

VILLANI, E.M.A. **Fluxo difusivo de fósforo influenciado por fontes e por tempo de contato do fósforo com o solo**. Viçosa: UFV, 1995. 57 f. (Dissertação de Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas).

WOLF, B. Improvements in azomethine-H method for determination of boron. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 5, n. 1, p. 39-44, 1974.

ZANCANARO, L. TESSARO, L.C. Calagem e adubação. In: FACUAL (Fundo de Apoio à Cultura do Algodão) (Eds). **Algodão: pesquisas e resultados para o campo**. Cuiabá: FACUAL, 2006. p. 56-80.

## 5 - CONCLUSÕES GERAIS

- A aplicação parcelada do fertilizante fosfatado não aumentou a absorção de fósforo e a produtividade de algodão em caroço nos sistemas de cultivo de sequeiro ou irrigado;
- No cultivo irrigado, os teores de nutrientes na quinta folha completamente expandida não foram afetados pelo parcelamento da adubação fosfatada, exceto os de P. No caso do P, nas menores doses aplicadas, quanto maior a parcela em cobertura do fertilizante fosfatado menor foi o teor de P na quinta folha completamente expandida;
- Comparando-se o sistema de cultivo irrigado com o de sequeiro, o teor de nutrientes na quinta folha completamente expandida aos 80 DAE foi maior no cultivo de sequeiro, exceto os de P e N;
- Não houve efeito da fonte de P (superfosfato triplo ou monoamônio fosfato) ou da granulometria da fonte (superfosfato triplo granulado ou em pó) aplicada em cobertura, sobre a absorção de fósforo, produtividade de algodão em caroço e teor de nutrientes na quinta folha completamente expandida, exceto o de P. O teor de P foi maior com aplicação de 40 % da dose de P em cobertura via monoamônio fosfato, aos 35 dias após a emergência.

## 6 - APÊNDICE

### 6.1 – Resultados de análise química e física do solo da área experimental do primeiro experimento.

Características químicas e físicas do solo da área experimental aos 35, 50 e 80 DAE: Experimentos 1 (Avaliação do parcelamento de doses de P nos cultivos do algodoeiro em regime de sequeiro ou irrigado).

Características	Época de amostragem – dias após a emergência (DAE)		
	35 DAE	50 DAE	80 DAE
pH (H <sub>2</sub> O, 1:2,5)	5,4	5,3	5,4
P (mg dm <sup>-3</sup> ) <sup>1</sup>	74,1	56,0	53,2
K (mg dm <sup>-3</sup> ) <sup>1</sup>	82	52	56
Ca <sup>2+</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ) <sup>2</sup>	2,0	1,9	1,9
Mg <sup>2+</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ) <sup>2</sup>	0,5	0,4	0,4
Al <sup>3+</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ) <sup>2</sup>	0,0	0,0	0,0
H+Al (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ) <sup>3</sup>	1,2	1,3	1,3
T (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	3,8	3,8	3,7
Matéria Orgânica (dag kg <sup>-1</sup> ) <sup>4</sup>	0,6	0,6	0,7
P rem (mg L <sup>-1</sup> ) <sup>5</sup>	53,9	51,9	53,9
Zn (mg dm <sup>-3</sup> ) <sup>1</sup>	5,2	4,9	4,8
Mn (mg dm <sup>-3</sup> ) <sup>1</sup>	21,8	22,3	20,5
Cu (mg dm <sup>-3</sup> ) <sup>1</sup>	0,2	0,2	0,2
Fe (mg dm <sup>-3</sup> ) <sup>1</sup>	1,8	1,9	1,7
Areia Grossa (dag kg <sup>-1</sup> )	30		
Areia Fina (dag kg <sup>-1</sup> )	57		
Silte (dag kg <sup>-1</sup> )	3		
Argila (dag kg <sup>-1</sup> )	10		
Classificação Textural	Areia - Franca		
Capacidade de Campo (kg kg <sup>-1</sup> ) <sup>*</sup>	0,100		
Ponto de Murcha (kg kg <sup>-1</sup> ) <sup>**</sup>	0,044		

Extratores: (1) Mehlich – 1; (2) KCl 1 mol L<sup>-1</sup>. (3) Ca(OAc)<sub>2</sub> 0,5 mol L<sup>-1</sup>, pH 7; (4) Método Walkley e Black; (5) P rem = Fósforo remanescente (ALVAREZ V. et al., 2000); (6) Fosfato monocálcico em ácido acético; (7) Água quente.

## 6.2 – Resultados de análise química e física do solo da área experimental no segundo e terceiro experimento

Características químicas e físicas do solo da área experimental aos 35, 50 e 80 DAE: Experimentos 2 (Avaliação do parcelamento de doses de P no cultivo do algodoeiro irrigado) e Experimento 3 (Avaliação do efeito da granulometria e fontes de P utilizada na aplicação em cobertura, no algodoeiro irrigado).

Características	Época de amostragem – dias após a emergência (DAE)		
	35 DAE	50 DAE	80 DAE
pH (H <sub>2</sub> O, 1:2,5)	5,8	5,4	5,6
P (mg dm <sup>-3</sup> ) <sup>1</sup>	21,3	24,2	26,3
K (mg dm <sup>-3</sup> ) <sup>1</sup>	59	69	49
Ca <sup>2+</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ) <sup>2</sup>	1,4	1,3	1,3
Mg <sup>2+</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ) <sup>2</sup>	0,4	0,4	0,4
Al <sup>3+</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ) <sup>2</sup>	0,0	0,0	0,0
H+Al (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ) <sup>3</sup>	1,1	1,2	1,1
T (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	3,0	2,9	2,8
Matéria Orgânica (dag kg <sup>-1</sup> ) <sup>4</sup>	0,4	0,4	0,4
P rem (mg L <sup>-1</sup> ) <sup>5</sup>	51,3	51,7	51,9
Zn (mg dm <sup>-3</sup> ) <sup>1</sup>	2,7	2,5	2,8
Mn (mg dm <sup>-3</sup> ) <sup>1</sup>	18,9	16,2	20,3
Cu (mg dm <sup>-3</sup> ) <sup>1</sup>	0,1	0,2	0,2
Fe (mg dm <sup>-3</sup> ) <sup>1</sup>	1,7	1,5	1,9
Areia Grossa (dag kg <sup>-1</sup> )	30		
Areia Fina (dag kg <sup>-1</sup> )	57		
Silte (dag kg <sup>-1</sup> )	3		
Argila (dag kg <sup>-1</sup> )	10		
Classificação Textural	Areia - Franca		
Capacidade de Campo (kg kg <sup>-1</sup> ) <sup>*</sup>	0,100		
Ponto de Murcha (kg kg <sup>-1</sup> ) <sup>**</sup>	0,044		

Extratores: (1) Mehlich – 1; (2) KCl 1 mol L<sup>-1</sup>. (3) Ca(OAc)<sub>2</sub> 0,5 mol L<sup>-1</sup>, pH 7; (4)

Walkley e Black; (5) P rem = Fósforo remanescente (ALVAREZ V. et al., 2000); (6)

Fosfato monocálcico em ácido acético; (7) Água quente.

### 6.3 - Resumo dos dados de manejo da irrigação no cultivo irrigado. Januária - MG, 2009.

DAS	TM (°C)	PP (mm)	ET0 (mm d <sup>-1</sup> )	Kc	ETc (mm d <sup>-1</sup> )	LL (mm)
1	23,4	5,8	1,55	0,85	1,32	10,0
2	26,3	0,8	3,31	0,85	2,81	0,0
3	23,3	0,3	1,58	0,85	1,34	2,0
4	24,8	13,4	3,24	0,85	2,75	0,0
5	25,2	9,9	2,62	0,85	2,23	0,0
6	25,6	19,5	2,62	0,85	2,23	0,0
7	26,3	12,8	2,75	0,85	2,34	0,0
8	23,4	9,0	1,31	0,85	1,11	0,0
9	26,1	2,5	3,26	0,85	2,77	0,0
10	24,3	23,6	2,88	0,85	2,45	0,0
11	20,9	1,6	1,27	0,85	1,08	0,0
12	20,2	11,0	0,83	0,85	0,71	0,0
13	21,4	9,8	1,54	0,85	1,31	0,0
14	23,6	2,7	3,03	0,85	2,58	0,0
15	24,6	2,3	3,34	0,85	2,84	0,0
16	24,0	0,0	2,77	0,85	2,35	2,0
17	23,1	7,7	1,85	0,85	1,57	0,0
18	22,6	2,8	1,74	0,85	1,48	0,0
19	22,0	10,7	1,62	0,85	1,38	0,0
20	23,8	14,8	1,07	0,85	0,91	0,0
21	25,2	0,0	3,30	0,85	2,81	0,0
22	24,5	36,6	3,15	0,85	2,68	0,0
23	24,5	0,6	2,09	0,85	1,78	0,0
24	25,0	14,4	4,27	0,85	3,63	0,0
25	25,2	16,1	3,65	0,85	3,10	0,0
26	25,2	16,5	3,69	0,85	3,14	0,0
27	25,8	4,3	4,03	0,85	3,43	0,0
28	26,2	0,2	4,97	0,85	4,22	0,0
29	27,3	0,0	5,86	0,85	4,98	2,0
30	26,0	0,0	5,23	0,85	4,45	4,5
31	25,9	0,0	4,77	0,85	4,05	4,0
32	27,9	0,0	5,76	0,85	4,90	4,9
33	26,8	0,0	4,81	0,85	4,09	4,0
34	26,2	1,9	5,59	0,85	4,75	2,9
35	26,6	1,8	5,53	0,85	4,70	2,9
36	25,5	46,0	4,92	0,85	4,18	0,0
37	25,3	13,9	3,60	0,85	3,06	0,0
38	26,2	80,3	4,62	0,85	3,93	0,0
39	27,0	0,4	4,31	0,85	3,66	0,0
40	24,3	0,0	3,89	0,86	3,35	0,0
41	24,9	0,0	4,04	0,88	3,54	3,5
42	23,9	0,0	3,97	0,89	3,53	3,5
43	24,6	1,7	4,04	0,90	3,64	3,6
44	24,5	4,1	4,03	0,91	3,68	0,0
45	24,3	7,4	4,03	0,93	3,72	0,0
46	24,3	3,0	4,02	0,94	3,77	0,0
47	24,0	3,0	4,00	0,95	3,80	0,0
48	24,9	19,1	4,07	0,96	3,92	0,0
49	25,6	0,0	4,16	0,98	4,06	0,0
50	25,4	0,0	4,07	0,99	4,02	4,0
51	25,2	0,0	4,12	1,00	4,12	4,0
52	24,1	0,0	3,87	1,01	3,92	4,0
53	24,2	0,0	3,02	1,03	3,10	3,1
54	24,2	12,6	1,30	1,04	1,35	0,0
55	24,6	19,0	1,30	1,05	1,37	0,0
56	24,2	48,3	1,30	1,06	1,38	0,0
57	25,2	64,2	3,86	1,08	4,15	0,0
58	23,8	9,1	2,37	1,09	2,58	0,0
59	24,8	7,2	2,45	1,10	2,70	0,0
60	25,4	0,0	3,45	1,11	3,84	0,0
61	25,0	0,0	3,82	1,13	4,30	0,0
62	24,8	0,0	3,76	1,14	4,28	4,3
63	25,8	0,0	3,95	1,15	4,54	4,5
64	25,7	0,0	4,33	1,16	5,03	5,0
65	25,1	0,0	4,18	1,18	4,91	4,9
66	25,3	0,0	4,35	1,19	5,17	5,2
67	26,3	0,2	3,61	1,20	4,33	4,3
68	24,8	0,0	2,65	1,20	3,18	3,2
69	25,6	0,0	3,38	1,20	4,06	4,1
70	26,3	0,0	3,46	1,20	4,15	4,2
71	25,5	0,0	3,46	1,20	4,16	4,2
72	25,4	0,0	3,46	1,20	4,15	4,2
73	25,2	0,4	3,44	1,20	4,12	4,1
74	24,2	19,6	3,37	1,20	4,05	0,0
75	25,8	0,9	3,54	1,20	4,24	0,0
76	25,2	0,0	3,49	1,20	4,19	4,2
77	24,9	33,7	3,43	1,20	4,12	0,0
78	25,8	0,0	3,55	1,20	4,26	0,0

DAS	TM (°C)	PP (mm)	ET0 (mm d <sup>-1</sup> )	Kc	ETc (mm d <sup>-1</sup> )	LL (mm)
79	25,7	0,0	3,55	1,20	4,26	0,0
80	25,4	0,0	3,56	1,20	4,27	4,3
81	25,7	0,0	3,60	1,20	4,32	4,3
82	25,9	0,0	3,61	1,20	4,33	4,3
83	25,9	0,0	3,61	1,20	4,33	4,3
84	26,5	0,0	3,93	1,20	4,72	4,7
85	26,0	0,0	4,08	1,20	4,89	4,9
86	26,3	0,0	4,10	1,20	4,91	4,9
87	26,9	0,0	4,12	1,20	4,95	5,0
88	27,0	0,0	3,63	1,20	4,36	4,4
89	27,8	0,0	3,88	1,20	4,66	4,7
90	26,7	2,0	3,59	1,20	4,31	2,3
91	25,6	13,5	3,65	1,20	4,38	0,0
92	26,4	0,0	3,38	1,20	4,05	0,0
93	26,7	12,8	4,03	1,20	4,84	0,0
94	26,5	0,0	3,97	1,20	4,76	0,0
95	24,8	0,0	2,24	1,20	2,68	2,0
96	22,5	31,3	1,30	1,20	1,57	0,0
97	24,7	18,0	3,58	1,20	4,30	0,0
98	24,4	0,0	3,31	1,20	3,97	0,0
99	24,9	0,0	3,81	1,20	4,57	0,0
100	25,0	0,0	3,55	1,20	4,26	4,3
101	24,8	0,0	3,45	1,20	4,14	4,1
102	24,6	0,0	3,55	1,20	4,26	4,3
103	25,0	0,0	3,59	1,20	4,31	4,3
104	25,9	0,0	3,65	1,20	4,38	4,4
105	25,7	0,0	3,61	1,20	4,34	4,3
106	24,5	4,4	3,46	1,20	4,15	0,0
107	25,3	1,1	3,55	1,20	4,26	0,0
108	26,1	0,0	3,66	1,20	4,39	7,6
109	25,8	0,0	3,63	1,20	4,36	4,4
110	26,3	0,0	3,69	1,20	4,43	4,4
111	26,3	0,0	3,69	1,20	4,43	4,4
112	22,6	0,0	3,10	1,20	3,72	3,7
113	27,0	0,0	3,83	1,20	4,59	4,6
114	27,9	0,0	3,83	1,20	4,60	4,6
115	28,3	0,0	3,65	1,20	4,38	4,4
116	25,3	0,0	2,68	1,20	3,22	3,2
117	26,4	31,4	3,53	1,20	4,23	0,0
118	26,5	0,0	3,65	1,20	4,38	0,0
119	26,9	0,0	4,90	1,20	5,87	0,0
120	25,8	0,0	3,75	1,20	4,50	4,5
121	26,0	0,0	3,81	1,20	4,57	4,6
122	25,7	0,0	3,78	1,17	4,43	4,4
123	26,0	0,0	3,63	1,14	4,14	4,1
124	26,3	0,0	3,62	1,11	4,02	4,0
125	27,1	0,0	3,44	1,08	3,72	3,7
126	27,5	0,0	3,40	1,05	3,57	3,6
127	25,9	11,3	3,23	1,02	3,30	0,0
128	26,4	0,0	3,62	0,99	3,60	0,0
129	25,8	0,0	3,39	0,96	3,27	2,0
130	25,6	0,2	3,51	0,93	3,27	3,0
131	26,4	0,0	3,52	0,90	3,18	3,2
132	26,7	0,0	3,33	0,87	2,91	2,9
133	24,3	0,7	2,26	0,84	1,91	0,0
134	24,7	6,1	3,11	0,81	2,53	0,0
135	25,5	16,1	3,00	0,79	2,36	0,0
136	23,4	0,5	1,10	0,76	0,83	0,0
137	22,6	2,4	1,17	0,73	0,85	0,0
138	25,2	5,5	3,34	0,70	2,32	0,0
139	23,7	13,8	1,80	0,67	1,20	0,0
140	24,9	11,9	2,75	0,64	1,75	0,0
141	25,5	0,2	2,52	0,61	1,53	0,0
142	24,6	18,1	2,83	0,58	1,63	0,0
143	24,4	3,4	2,31	0,55	1,26	0,0
144	24,3	11,8	2,24	0,52	1,16	0,0
145	24,9	1,0	2,68	0,49	1,31	0,0
146	25,4	0,8	3,29	0,46	1,51	0,0
147	24,1	0,0	1,98	0,43	0,85	0,0
148	24,9	1,4	2,48	0,40	0,99	0,0
149	24,6	1,9	2,70	0,37	1,00	0,0
150	24,4	1,4	2,45	0,34	0,83	0,0
Média	25,2	5,8	3,3		3,4	1,9
Soma		870,5	501,7		506,3	278,4

DAS = dias após a semeadura;  
 TM = temperatura média diária;  
 PP = precipitação pluvial;  
 ET0 = evapotranspiração de referência - Penman Monteith (FAO 56);  
 Kc = coeficiente de cultivo para o algodoeiro (Bernardo et al., 2006);  
 ETc = evapotranspiração da cultura (ET0 x Kc);  
 LL = Lâmina Líquida de Irrigação.

**6.4 – Registro fotográfico das principais etapas da condução do experimento em campo.**

Local: Unidade de Pesquisa e Produção do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Norte de Minas Gerais – Campus de Januária. Januária – MG, 2009.



Primeira gradagem e incorporação do material corretivo de acidez



Aração



Semeadura e realização do teste de uniformidade da irrigação



Detalhe do início da emergência



Plantas aos 7 dias após a emergência (DAE)



Plantas aos 14 DAE



Plantas aos 21 DAE



Plantas aos 35 DAE



Plantas irrigadas por gotejamento aos 50 DAE



Plantas irrigadas por gotejamento aos 80 DAE



Plantas com sintomas de estresse hídrico aos 60 DAE



Plantas com sintomas de deficiência hídrica os 80 DAE



Estruturas reprodutivas em plantas não irrigadas aos 80 DAE



Estruturas reprodutivas em plantas irrigadas aos 80 DAE



Lavoura após a aplicação do desfolhante no ponto de colheita



Algodão em caroço após a colheita



Separação das sementes e fibra (descaroçamento)